

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 1 月 3 0 日
Date of Application:

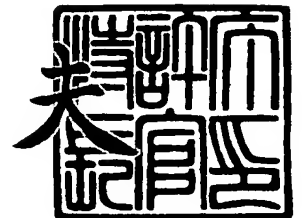
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 2 2 0 7 3
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 0 2 2 0 7 3]

出 願 人 ローム株式会社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 2 月 5 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康



【書類名】 特許願

【整理番号】 JP020575P

【提出日】 平成15年 1月30日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H05H 1/46

【発明者】

 【住所又は居所】 京都市右京区西院溝崎町 2 1 ローム株式会社内

 【氏名】 篠原 壽邦

【特許出願人】

 【識別番号】 000116024

 【氏名又は名称】 ローム株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100094145

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 小野 由己男

 【連絡先】 0 6 - 6 3 1 6 - 5 5 3 3

【選任した代理人】

 【識別番号】 100106367

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 稲積 朋子

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 020905

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 プラズマ処理装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

反応器内の試料にプラズマ処理を行うプラズマ処理装置であって、
マイクロ波を発生するマイクロ波発生手段と、

前記マイクロ波発生手段に接続され、前記試料の処理面に沿う断面が矩形状であり、前記マイクロ波発生手段から発生したマイクロ波の電界強度分布を前記試料の処理面に沿って概ね均一にする第 1 誘電体と、

前記反応器と前記第 1 誘電体との間に設けられ、複数の第 1 スロットが形成されており、前記第 1 誘電体内のマイクロ波の電界強度分布の均一性を保持またはさらに高めるスロット板と、

前記スロット板と前記反応器との間に設けられ、前記スロット板から供給されるマイクロ波の電界強度分布の均一性を保持またはさらに高める第 2 誘電体と、

前記マイクロ波により前記反応器内に発生するプラズマを用いて前記試料を処理する処理手段と、

を有するプラズマ処理装置。

【請求項 2】

前記第 2 誘電体は前記試料の処理面に沿う断面が矩形状である、請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 3】

前記反応器は、前記試料の処理面に沿う断面が矩形状に形成されている、請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 4】

前記マイクロ波発生手段は前記試料の処理面に沿う断面が矩形状のアンテナを含んでおり、前記アンテナは前記第 1 誘電体に接している、請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 5】

前記第 1 スロットは概ね同一サイズの同一形状で、概ね同一方向に沿って設け

られており、隣接する前記第 1 スロットの中心間の距離 L_1 は、実質的に、下記式 (1) を満たす請求項 1 に記載のプラズマ処理装置

$$L_1 = n_{L1} \lambda_1 \quad \cdots (1)$$

ここで、 λ_1 : 前記第 1 誘電体内のマイクロ波の波長

n_{L1} : 1 以上の整数。

【請求項 6】

前記第 1 スロットは概ね同一サイズの同一形状であり、前記スロット板に沿う互いに直交する軸のいずれかに関して線対称に配置され、かつ隣接する第 1 スロットの中心間の距離 L_2 は、実質的に、下記式 (2) を満たす請求項 1 に記載のプラズマ処理装置

$$L_2 = n_{L2} (\lambda_1 / 2) \quad \cdots (2)$$

ここで、 λ_1 : 前記第 1 誘電体内のマイクロ波の波長

n_{L2} : 1 以上の整数。

【請求項 7】

前記試料の処理面に沿う方向における、前記第 1 誘電体の対向する二辺が平行であり、前記第 1 誘電体の対向する二辺の間隔 L_{d1} は、実質的に、下記式 (3) を満たす請求項 1 に記載のプラズマ処理装置

$$L_{d1} = n_{d1} (\lambda_1 / 2) \quad \cdots (3)$$

ここで、 λ_1 : 前記第 1 誘電体内のマイクロ波の波長

n_{d1} : 1 以上の整数。

【請求項 8】

前記試料の処理面に沿う方向における、前記第 2 誘電体の対向する二辺が平行であり、前記第 2 誘電体の対向する二辺の間隔 L_{d2} は、実質的に、下記式 (4) を満たす請求項 2 に記載のプラズマ処理装置

$$L_{d2} = n_{d2} (\lambda_2 / 2) \quad \cdots (4)$$

ここで、 λ_2 : 前記第 2 誘電体内のマイクロ波の波長

n_{d2} : 1 以上の整数。

【請求項 9】

前記第 1 誘電体及び前記第 2 誘電体の各々の比誘電率は概ね同一である、請求

項 7 または 8 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 10】

前記試料の処理面に沿う方向における、前記反応器の対向する二辺が平行であり、前記反応器の対向する二辺の長さ L_p は、実質的に、下記式 (5) を満たす請求項 3 に記載のプラズマ処理装置

$$L_p = n_p (\lambda_p / 2) \quad \cdots (5)$$

ここで、 λ_p : 前記反応器内のマイクロ波の波長

n_p : 1 以上の整数。

【請求項 11】

前記マイクロ波発生手段の前記第 1 誘電体と接する面（以下、導入面）の対向する二辺が平行であり、前記導入面には前記マイクロ波発生手段から前記第 1 誘電体にマイクロ波を導入する複数の第 2 スロットが設けられており、前記第 2 スロットの中心位置の各々は、前記導入面の対向する二辺に沿う 2 つの軸上に交互に位置し、前記 2 つの軸の間隔 L_5 は、実質的に、下記式 (6) を満たす請求項 2 に記載のプラズマ処理装置

$$L_5 = n_{L5} (\lambda_1 / 2) \quad \cdots (6)$$

ここで、 λ_1 : 前記第 1 誘電体内のマイクロ波の波長

n_{L5} : 1 以上の整数。

【請求項 12】

前記 2 つの軸上に交互に隣接して配置された前記第 2 スロットの中心間の前記軸方向における距離 L_4 は、実質的に、下記式 (7) を満たす請求項 11 に記載のプラズマ処理装置

$$L_4 = n_{L4} (\lambda_1 / 2) \quad \cdots (7)$$

ここで、 λ_1 : 前記第 1 誘電体内のマイクロ波の波長

n_{L4} : 1 以上の整数。

【請求項 13】

前記第 1 誘電体のうち前記導入面の対向する二辺に沿う端面と前記 2 つの軸との距離 D が、実質的に、下記式 (8) を満たす請求項 11 または 12 に記載のプラズマ処理装置

$$D = n_D (1/4) \lambda_1 \cdots (8)$$

ここで、 λ_1 : 前記第 1 誘電体内のマイクロ波の波長

n_D : 1 以上の整数。

【請求項 14】

前記スロット板の厚みは 1 mm 以上である、請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 15】

前記スロット板の厚みは 3 mm 以上である、請求項 14 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 16】

前記スロット板の前記第 1 スロットは長形状であり、前記第 1 スロットの長辺方向の長さ L_7 は、実質的に、下記式 (9) を満たす請求項 14 または 15 に記載のプラズマ処理装置

$$L_7 \geq (3/8) \lambda_1 \cdots (9)$$

ここで、 λ_1 : 前記第 1 誘電体内のマイクロ波の波長。

【請求項 17】

前記第 1 スロットの長辺方向の長さ L_7 は、実質的に、下記式 (10) を満たす請求項 16 に記載のプラズマ処理装置

$$L_7 \geq (1/2) \lambda_1 \cdots (10)$$

ここで、 λ_1 : 前記スロット板に導入されるマイクロ波の波長。

【請求項 18】

前記第 1 スロットの長辺方向の長さ L_7 は、実質的に、下記式 (11) を満たす請求項 17 に記載のプラズマ処理装置

$$L_7 = (1/2) \lambda_1 \cdots (11)。$$

ここで、 λ_1 : 前記スロット板に導入されるマイクロ波の波長。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、マイクロ波により発生したプラズマを利用するプラズマ処理装置に

関するものである。

【0002】

【従来の技術】

近年、IC (integrated circuit) の微細化及びウェハの大口径化が進み、それに伴い大口径な薄膜を均一に作成することが要求されている。特に、ゲート酸化膜は、ICの特性を左右するため薄く均一に形成する必要がある。そこでゲート酸化膜等の薄膜を、マイクロ波（例えば、2.45GHz）を用いたプラズマ処理装置により形成している。このマイクロ波を用いたプラズマ処理装置では、高い周波数を有するマイクロ波により高密度、かつ低電子温度のプラズマを得ることができる。よって、ゲート酸化膜等の薄膜への電氣的破壊や物理的破壊の影響を抑えることができる。このようにマイクロ波を用いると効率よくダメージの少ない薄膜を形成することができるが、マイクロ波の波長はウェハ径と同程度であるため、マイクロ波により大口径な薄膜を均一に作成する場合、後述の波の性質による影響を受け易い。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

プラズマ処理装置において、プラズマを発生させるためのマイクロ波が伝搬する領域である誘電体等は、試料（例えばシリコンウェハ）の形状に合わせて、円筒形状や円形状に形成されている。そのため、図18に示すように、マイクロ波が円筒形状の伝搬領域の壁面14において互いに集まる方向、あるいは分散する方向に反射する。これは、マイクロ波の波の性質が顕著であるためである。図19は、このような円筒形状の伝搬領域におけるマイクロ波の電界強度分布であり、マイクロ波の電界強度分布が円筒形状の領域内において中央部に偏り、不均一となる性質を有していることを示している。よって、円筒形状の伝搬領域において不均一となったマイクロ波により不均一なプラズマが発生し、この不均一なプラズマにより励起・活性化されたガス分子により試料の表面に薄膜が形成される。そのため、均一な薄膜形成が困難となっている。また、ウェハの大口径に伴い、プラズマを発生させるマイクロ波の伝搬領域も大きくなるため、マイクロ波の電界強度分布の偏りが顕著となり易く、均一なプラズマを発生させることが困難

となる。

【0004】

そこで、マイクロ波がプラズマにより反射・吸収される性質を利用し、不均一なマイクロ波をプラズマに反射・吸収させて均一にする方法が採られている。例えば、円形状または円筒形状の外側部分のみからマイクロ波の導入を行って不均一なマイクロ波を導入し、そのマイクロ波の不均一性をプラズマにより吸収し、バランスをとることで均一な励起を行う方法が用いられている。

しかし、この方法では、ガスの流量・組成比、圧力、試料温度等のプロセス条件の変化に対してバランスを維持することが難しく、処理内容に応じて、そのプロセス条件を設定する必要がある。また、メンテナンス等による多少の状態変化によってもプロセス条件が変わってしまう等、プロセスマージンが小さいという問題がある。

【0005】

そこで、本発明は、試料の処理面に対して均一な処理を施すことができるプラズマ処理装置を提供することを目的とする。

また、本発明は、プロセスマージンを拡大することができるプラズマ処理装置を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本願第1発明は、反応器内の試料にプラズマ処理を行うプラズマ処理装置であって、マイクロ波を発生するマイクロ波発生手段と、前記マイクロ波発生手段に接続され、前記試料の処理面に沿う断面が矩形状であり、前記マイクロ波発生手段から発生したマイクロ波の電界強度分布を前記試料の処理面に沿って概ね均一にする第1誘電体と、前記反応器と前記第1誘電体との間に設けられ、複数の第1スロットが形成されており、前記第1誘電体内のマイクロ波の電界強度分布の均一性を保持またはさらに高めるスロット板と、前記スロット板と前記反応器との間に設けられ、前記スロット板から供給されるマイクロ波の電界強度分布の均一性を保持またはさらに高める第2誘電体と、前記マイクロ波により前記反応器内に発生するプラズマを用いて前記試料を処理する

処理手段とを有するプラズマ処理装置を提供する。

【0007】

上記のプラズマ処理装置では、マイクロ波が伝播する第1誘電体の断面を上記のように矩形状とすることで、マイクロ波の電界強度分布が試料の処理面に沿って全体として概ね均一（以下、単に均一という）となり、均一なプラズマが発生する。このプラズマにより励起・活性化されたガス分子によって均一な薄膜形成やエッチングなどが可能となる。また、ガスの流量・組成比等のプロセス条件の変更やメンテナンス等によるプロセス条件の変化に対しても、マイクロ波が伝播する領域が矩形状であるためマイクロ波の電界強度分布が偏りにくい。よって、プロセスマージンを拡大することができる。

【0008】

本願第2発明は、前記第1発明において、前記第2誘電体は前記試料の処理面に沿う断面が矩形状であるプラズマ処理装置を提供する。

第2誘電体を矩形状とすることで、さらにマイクロ波を均一化し易くなる。

本願第3発明は、前記第1発明において、前記反応器は、前記試料の処理面に沿う断面が矩形状に形成されているプラズマ処理装置を提供する。

反応器を矩形状とすることにより、第2誘電体から導入され、プラズマにより吸収されずに反応器内を伝搬しているマイクロ波の電界強度分布を均一化できる。よって、不均一なマイクロ波によるプラズマの乱れが低減される。

【0009】

本願第4発明は、前記第1発明において、前記マイクロ波発生手段は前記試料の処理面に沿う断面が矩形状のアンテナを含んでおり、前記アンテナは前記第1誘電体に接しているプラズマ処理装置を提供する。

上記の矩形状のアンテナを使用した場合には、一点に大電力が集中することがなく、発熱・異常放電等の特性変動が生じにくい。また、安定に固定することができ特性変動が生じにくい。

本願第5発明は、前記第1発明において、前記第1スロットは概ね同一サイズの同一形状で、概ね同一方向に沿って設けられており、隣接する前記第1スロットの中心間の距離 L_1 は、実質的に、下記式（1）を満たすプラズマ処理装置を

提供する。

【0010】

$$L_1 = n_{L1} \lambda_1 \cdots (1)$$

ここで、 λ_1 : 前記第1誘電体内のマイクロ波の波長

n_{L1} : 1以上の整数である。

第1誘電体内の波長 λ_1 のマイクロ波が、各々の中心間の距離が λ_1 の整数倍である第1スロットから第2誘電体に導入されると、各々の第1スロットの中心位置における第2誘電体内のマイクロ波の位相が揃うため、マイクロ波の損失を最小限とし、かつ均一なプラズマの励起が可能となる。

【0011】

本願第6発明は、前記第1発明において、前記第1スロットは概ね同一サイズの同一形状であり、前記スロット板に沿う互いに直交する軸のいずれかに関して線対称に配置され、かつ隣接する第1スロットの中心間の距離 L_2 は、実質的に、下記式(2)を満たすプラズマ処理装置を提供する。

$$L_2 = n_{L2} (\lambda_1 / 2) \cdots (2)$$

ここで、 λ_1 : 前記第1誘電体内のマイクロ波の波長

n_{L2} : 1以上の整数である。

【0012】

前記第5発明と同様に、マイクロ波の損失を最小限とし、かつ均一なプラズマの励起ができ、さらに第1スロットの実装密度を高めることができる。

本願第7発明は、前記第1発明において、前記試料の処理面に沿う方向における、前記第1誘電体の対向する二辺が平行であり、前記第1誘電体の対向する二辺の間隔 L_{d1} は、実質的に、下記式(3)を満たすプラズマ処理装置を提供する。

$$L_{d1} = n_{d1} (\lambda_1 / 2) \cdots (3)$$

ここで、 λ_1 : 前記第1誘電体内のマイクロ波の波長

n_{d1} : 1以上の整数である。

【0013】

上記の構成により、第1誘電体内の試料の処理面に沿う方向において、マイク

ロ波の定在波条件が満たされ、第1誘電体内のマイクロ波が安定する。よって、マイクロ波伝搬領域の壁面を端面とした多重反射による波の打ち消し合いが低減し、効率よく均一なプラズマを発生させることができる。

本願第8発明は、前記第2発明において、前記試料の処理面に沿う方向における、前記第2誘電体の対向する二辺が平行であり、前記第2誘電体の対向する二辺の間隔 L_{d2} は、実質的に、下記式(4)を満たすプラズマ処理装置を提供する。

【0014】

$$L_{d2} = n_{d2} (\lambda_2 / 2) \quad \dots (4)$$

ここで、 λ_2 : 前記第2誘電体内のマイクロ波の波長

n_{d2} : 1以上の整数である。

上記の構成により、前記第7発明と同様に、第2誘電体内のマイクロ波が安定し、均一なプラズマを発生させることができる。

本願第9発明は、前記第7または第8発明において、前記第1誘電体及び前記第2誘電体の各々の比誘電率は概ね同一であるプラズマ処理装置を提供する。

【0015】

誘電率が実質的に同一であると、前記試料の処理面に沿う方向における第1誘電体及び第2誘電体の長さを揃えることができるため、より現実的な設計が可能となる。

本願第10発明は、前記第3発明において、前記試料の処理面に沿う方向における、前記反応器の対向する二辺が平行であり、前記反応器の対向する二辺の長さ L_p は、実質的に、下記式(5)を満たすプラズマ処理装置を提供する。

$$L_p = n_p (\lambda_p / 2) \quad \dots (5)$$

ここで、 λ_p : 前記反応器内のマイクロ波の波長

n_p : 1以上の整数である。

【0016】

上記の構成により、前記第7発明と同様に、反応器内のマイクロ波が安定し、均一なプラズマを発生させることができる。

本願第11発明は、前記第2発明において、前記マイクロ波発生手段の前記第

1 誘電体と接する面（以下、導入面）の対向する二辺が平行であり、前記導入面には前記マイクロ波発生手段から前記第 1 誘電体にマイクロ波を導入する複数の第 2 スロットが設けられており、前記第 2 スロットの中心位置の各々は、前記導入面の対向する二辺に沿う 2 つの軸上に交互に位置し、前記 2 つの軸の間隔 L_5 は、実質的に、下記式（6）を満たすプラズマ処理装置を提供する。

【0017】

$$L_5 = n_{L5} (\lambda_1 / 2) \quad \dots (6)$$

ここで、 λ_1 : 前記第 1 誘電体内のマイクロ波の波長

n_{L5} : 1 以上の整数である。

上記の構成により、マイクロ波発生手段の導入面における第 2 スロットの中心位置の間隔と第 1 誘電体内のマイクロ波の波長とを揃え、かつ結合度を高めることができる。よって、軸上の第 2 スロットを介して誘電体に導入されるマイクロ波が互いに打ち消し合う等の干渉を低減し、マイクロ波を均一化し易くなり、均一なプラズマを発生させることができる。

【0018】

また、前記軸は前記導入面の辺方向の中心軸に関して線対称であると、第 2 スロットから導入されるマイクロ波と第 1 誘電体内のマイクロ波との結合度が同程度となり、マイクロ波を均一化し易くなる。

さらに、マイクロ波発生手段の前記軸と直交する方向の幅 W_1 が、概ね前記軸の間隔 L_5 に等しくなるように設定すると好ましい。このように幅 W_1 を設定することで、導入部から導入されるマイクロ波と第 1 誘電体内のマイクロ波との結合度を高めることができる。

【0019】

本願第 1 2 発明は、前記第 1 1 発明において、前記 2 つの軸上に交互に隣接して配置された前記第 2 スロットの中心間の前記軸方向における距離 L_4 は、実質的に、下記式（7）を満たすプラズマ処理装置を提供する。

$$L_4 = n_{L4} (\lambda_1 / 2) \quad \dots (7)$$

ここで、 λ_1 : 前記第 1 誘電体内のマイクロ波の波長

n_{L4} : 1 以上の整数である。

上記の構成により、2つの軸上の交互に配置された第2スロットから第1誘電体に導入されるマイクロ波の位相及び結合度を揃えることができる。

【0020】

本願第13発明は、前記第11または第12発明において、前記第1誘電体のうち前記導入面の対向する二辺に沿う端面と前記2つの軸との距離Dが、実質的に、下記式(8)を満たすプラズマ処理装置を提供する。

$$D = n_D (1/4) \lambda_1 \cdots (8)$$

ここで、 λ_1 : 前記第1誘電体内のマイクロ波の波長

n_D : 1以上の整数である。

上記の構成により、第1誘電体とマイクロ波発生手段との結合部をチョークと逆の関係とすることができるので、両者のより高い結合度を得ることができる。よって、マイクロ波を均一化し易くなる。

【0021】

本願第14発明は、前記第1発明において、前記スロット板の厚みは1mm以上であるプラズマ処理装置を提供する。

厚みが1mm以上のスロット板によりプラズマを発生させる際等に生じる熱の放熱特性や剛性が向上し、熱変形等による特性変動を抑制することができる。また、スロット板の第1スロットでの電界集中が緩和されることで、火花や異常放電発生などの問題を低減することができる。

本願第15発明は、前記第14発明において、前記スロット板の厚みは3mm以上であるプラズマ処理装置を提供する。

【0022】

厚みが3mm以上のスロット板により放熱特性や剛性をさらに向上することができる。より安定した装置特性が得られる。

本願第16発明は、前記第14または第15発明において、前記スロット板の前記第1スロットは長方形状であり、前記第1スロットの長辺方向の長さ L_7 は、実質的に、下記式(9)を満たすプラズマ処理装置を提供する。

$$L_7 \geq (3/8) \lambda_1 \cdots (9)$$

ここで、 λ_1 : 前記第1誘電体内のマイクロ波の波長である。

【0023】

上記の構成により、スロット板の厚みが厚い場合でも第1スロットによるマイクロ波の減衰を防止し、スロット板を通過した第1誘電体内のマイクロ波と第2誘電体内のマイクロ波との結合度を良好にすることができる。

本願第17発明は、前記第16発明において、前記第1スロットの長辺方向の長さ L_7 は、実質的に、下記式(10)を満たすプラズマ処理装置を提供する。

$$L_7 \geq (1/2) \lambda_1 \cdots (10)$$

ここで、 λ_1 : 前記スロット板に導入されるマイクロ波の波長である。

【0024】

上記の構成により、スロット板の厚みが厚い場合でも第1スロットによるマイクロ波の減衰をさらに防止し、マイクロ波の透過特性を改善することができる。よって、スロット板を通過した第1誘電体内のマイクロ波と第2誘電体内のマイクロ波との結合度をさらに良好にすることができる。

本願第18発明は、前記第17発明において、前記第1スロットの長辺方向の長さ L_7 は、実質的に、下記式(11)を満たすプラズマ処理装置を提供する。

$$L_7 = (1/2) \lambda_1 \cdots (11)$$

ここで、 λ_1 : 前記スロット板に導入されるマイクロ波の波長である。

【0025】

上記の構成により、第1スロットの長辺方向の長さが、スロット板に導入されるマイクロ波の波長のほぼ共振長となる。よって、第1スロットの短辺方向の長さが狭い場合であってもマイクロ波の透過率を効率よく高めつつ、かつマイクロ波の分布を乱さずに高い結合度を得ることができる。また、第1スロットの長辺方向における隣接する第1スロット間隔 L_8 を、実質的に、 $L_8 = \lambda_1$ とすると各第1スロットから第2誘電体に導入されるマイクロ波の位相が揃うのでさらに好ましい。

【0026】

【発明の実施の形態】

<プラズマ処理装置>

プラズマ処理装置は、マイクロ波発生器、処理室及び処理室上部のマイクロ波

伝搬領域を有しており、以下のように処理が行われる。

マイクロ波発生器より発生したマイクロ波がマイクロ波伝搬領域を伝搬し、ガス雰囲気の治療室内に電界が形成される。この電界とガスとによりプラズマが発生し、プラズマにより生成された化学種により成膜、エッチング、気相洗浄等の処理が処理室内の試料に施される。

【0027】

このようなプラズマを利用したプラズマ処理装置には、プラズマにより酸化・窒化を行う装置（以下、プラズマ酸窒化装置という）、プラズマCVD（Chemical Vapor Deposition）装置、プラズマエッチング装置、プラズマアッシング装置、プラズマ洗浄装置、プラズマアニール装置等がある。

以下に、本発明のプラズマ処理装置として、プラズマ酸窒化装置を例に挙げて説明する。

<第1実施形態例>

図1は第1実施形態例に係るプラズマ酸窒化装置の外観、図2は図1のA-A'を含む試料の処理面に垂直な方向における図1の装置の断面図、図3は図1に示すプラズマ酸窒化装置の要部の分解斜視図である。

【0028】

第1実施形態例に係るプラズマ酸窒化装置は、マイクロ波発生器1、矩形導波管2及びチャンバ4を有している。チャンバ4には、成膜ガス等のガスを導入するガス導入口5及びガスを排出するガス排出口6が取り付けられている。また、チャンバ4は、矩形状のチャンバ蓋（以下、矩形チャンバ蓋）4aと円筒形状の処理室（以下、円形処理室）4bとを有している。円形処理室4bには、矩形チャンバ蓋4aと対向する位置に試料12を処理するための試料台11が設けられている。円形処理室4bの側面には、ガス導入口5から成膜ガス等のガスを円形処理室4bに供給するガス導入部10が設けられている。一方、矩形チャンバ蓋4aには、上から順にそれぞれ試料12の処理面に沿う断面が矩形状の誘電体（以下、矩形アンテナ誘電体）15、スロット板17及び封止誘電体19が円形処理室4bの上部を覆うように設けられている。チャンバ4上には、矩形導波管2

及び矩形導波管 2 に接続されたマイクロ波発生器 1 が設けられている。

【0029】

矩形導波管 2 のかわりに、スロットアンテナ、同軸アンテナ等その他のアンテナを設けても良い。

ここで、矩形アンテナ誘電体 15 は、その内部におけるマイクロ波の電界強度分布を、試料 12 の処理面に沿う方向に概ね均一化するための誘電体である（以下、電界強度分布が概ね均一なマイクロ波を、均一なマイクロ波と称する。また、以下の“均一”とは“試料 12 の処理面に沿う方向に概ね均一”をいうものとする）。矩形アンテナ誘電体 15 下部のスロット板 17 は、スロット 17a を介して均一なマイクロ波を均一に封止誘電体 19 に導入する。また、スロット板 17 は、矩形アンテナ誘電体 15 を円形処理室 4b 内のプラズマから分離し、プラズマによるマイクロ波への干渉を抑制している。封止誘電体 19 は、真空状態の円形処理室 4b を大気から隔離するための誘電体である。ここで、封止誘電体 19 の試料 12 の処理面に沿う断面が矩形状であると、マイクロ波の電界強度分布をさらに均一化し易い。

【0030】

上記の誘電体としては、石英、フッ素樹脂、ポリエチレン、ポリスチレン等の誘電損失の少ない物質が好ましい。誘電体は、真空、空気、ガス等比誘電率が“1”である場合を含む。また、誘電体の表面の少なくとも一部が導体で覆われている場合を含む。スロット板の材質としては、Cu、Al 等の金属板が用いられる。このプラズマ酸化装置では、例えば以下のように成膜の処理が行われる。

まず、ガス排出口 6 より排気を行って、円形処理室 4b 内を所定の真空度にし、ガス導入口 5 及びガス導入部 10 を介して円形処理室 4b 内にガスを導入する。次に、マイクロ波発生器 1 より発生したマイクロ波を、矩形導波管 2 を介して矩形アンテナ誘電体 15 に導入し、その電界強度分布を均一化する。矩形アンテナ誘電体 15 により均一化されたマイクロ波は、スロット板 17 により均一性を保持したままあるいはさらに高められ、封止誘電体 19 に導入される。封止誘電体 19 は、導入されたマイクロ波の均一性を保持したままあるいはさらに高め、円形処理室 4b 内に導入する。導入されたマイクロ波により発生したプラズマは

、ガス分子を励起・活性化させ化学種を生成し、試料 12 の表面に薄膜を形成する。

【0031】

このプラズマ酸窒化装置は、試料 12 の処理面に沿う面方向にマイクロ波を伝搬させる領域、すなわち矩形アンテナ誘電体 15 の試料 12 の処理面に沿う断面が矩形形状である。よって、図 4 に示すように、マイクロ波がその進行方向と垂直な壁面 16 において、入射された方向と鏡面方向に反射される。図 5 は、このような断面が矩形形状の断面を有する伝搬領域におけるマイクロ波の電界強度分布である。この図は、マイクロ波の進行方向と垂直な壁面 16 で反射されたマイクロ波が、中央部に偏っておらず全体として均一な電界強度分布となることを示している。

【0032】

よって、プラズマ酸窒化装置の矩形アンテナ誘電体 15 の試料 12 の処理面に沿う断面を矩形形状とすることで、マイクロ波の電界強度分布が試料の処理面に沿って全体として均一となる。その均一なマイクロ波により均一にプラズマが発生し、均一な薄膜形成が可能となる。また、ガスの流量・組成比等のプロセス条件の変更やメンテナンス等によるプロセス条件の変化が生じて、マイクロ波が伝播する領域が矩形形状であるためマイクロ波の電界強度分布が偏りにくい。よって、プロセスマージンを拡大することができる。

<第 1 実施例>

以下の図 6 ～図 11 を参照し、第 1 実施形態例に係るプラズマ酸窒化装置について、第 1 実施例を挙げてより具体的に説明する。図 6 は第 1 実施例のプラズマ酸窒化装置の外観、図 7 は図 6 の B-B' を含む図中 X 軸に垂直な図 6 の装置の断面図、図 8 は図 6 に示すプラズマ酸窒化装置の要部の分解斜視図、図 9 は H 面スロットアンテナのスロット形状、図 10 (a), (b) は矩形スロット板のスロットの形状、図 11 (a), (b) は図 10 (a), (b) それぞれに示すスロット形状と矩形アンテナ誘電体内を伝搬するある時間におけるマイクロ波の波長との関係を示す説明図である。

[全体構成]

本実施例に係るプラズマ酸化装置は、矩形導波管 20、H面スロットアンテナ 30 及び試料 12 の処理面に沿う断面が矩形状のチャンバ（以下、矩形チャンバ）25 を有している。また、矩形チャンバ 25 には、試料 12 の処理面に沿う断面が矩形状の処理室（以下、矩形処理室）25b 及び矩形処理室 25b を覆う、試料 12 の処理面に沿う断面が矩形状のチャンバ蓋（以下、矩形チャンバ蓋）25a が設けられている。

【0033】

矩形チャンバ蓋 25a は、図 8 に示すように、上から順にそれぞれ矩形アンテナ誘電体 34、スロット 36a が設けられた、試料 12 の処理面に沿う断面が矩形状のスロット板（以下、矩形スロット板）36 及び試料 12 の処理面に沿う断面が矩形状の誘電体（以下、矩形封止誘電体）38 を有している。矩形アンテナ誘電体 34 上には、H面スロットアンテナ 30 が載置されており、この H面スロットアンテナ 30 により矩形導波管 20 から矩形アンテナ誘電体 34 にマイクロ波が導入される。

【0034】

H面スロットアンテナ 30 は、上部 30a、側部 30b 及び底部 30c を有している。底部 30c つまり H面スロットアンテナ 30 の H面には、図 9 に示すように H面スロットアンテナ 30 の辺方向に沿って、長形状のスロット 30d が形成されている。H面スロットアンテナ 30 上部には矩形導波管 20 が搭載されている。その他の構成は、前記第 1 実施形態例と同様である。

以下に、本実施例に係るプラズマ酸化装置の各部について詳細に説明する。

[矩形アンテナ誘電体]

矩形状に形成されている矩形アンテナ誘電体 34 は、マイクロ波の電界強度分布を均一化する。また、矩形アンテナ誘電体 34 は、矩形処理室 25b との間に設けられた矩形スロット板 36 によって、矩形アンテナ誘電体 34 内のマイクロ波と矩形処理室 25b 内のプラズマにより反射されたマイクロ波との結合を抑制されている。そのため、矩形アンテナ誘電体 34 内を伝搬するマイクロ波はプラズマの影響を受けにくく、マイクロ波の電界強度分布を均一化し易い。

[矩形封止誘電体]

矩形封止誘電体 38 は、矩形状に形成されており、矩形スロット板 36 より導入されたマイクロ波の電界強度分布の均一性を保持したままあるいはさらに高め、矩形封止誘電体 38 下方の矩形処理室 25b にプラズマを発生させるための電界を形成する。また、矩形封止誘電体 38 は、真空状態の矩形処理室 25b を大気から隔離し、清浄空間に保つ。

[矩形処理室]

矩形処理室 25b では、矩形封止誘電体 38 内のマイクロ波により電界が形成される。矩形封止誘電体 38 から均一なマイクロ波が導入されているため、矩形処理室 25b 内では均一なプラズマが発生する。このプラズマにより励起・活性化されたガス分子によって、均一な薄膜が試料 12 上に形成される。矩形処理室 25b は、その中で発生したプラズマによりマイクロ波が反射・吸収されるため通常マイクロ波が伝搬する領域ではない。よって、矩形処理室 25b の試料 12 処理面に沿う方向の断面は必ずしも矩形状である必要はない。ただし、マイクロ波が完全に吸収されずに矩形処理室 25b 内を伝搬する場合もあるので、不均一なマイクロ波によりプラズマの均一性が乱されないように矩形処理室 25b の試料 12 処理面に沿う断面を矩形状とするのが好ましい。このようにすることで、プラズマの均一性をさらに高め、より均一な薄膜を形成することができる。

[矩形スロット板]

矩形スロット板 36 は、矩形アンテナ誘電体 34 から導入されるマイクロ波の電界強度分布の均一性を、スロット 36a により保持したままあるいはさらに高める。また、矩形処理室 25b で発生されるプラズマの影響が、矩形アンテナ誘電体 34 に及ぶのを抑制している。矩形スロット板 36 は、必ずしも試料 12 の処理面に沿う断面が矩形状である必要はなく、矩形アンテナ誘電体 34、矩形封止誘電体 38 及び矩形処理室 25b を覆う形状であれば良く、例えば円形状であっても良い。

【0035】

矩形スロット板 36 に設けられたスロット 36a の形状及び配置としては、矩形アンテナ誘電体 34 内を伝搬するマイクロ波の波長を λ_{34} とすると、例えば図 10 (a)、(b) に示すパターンが挙げられる。図 10 (a) では、長方形状

のスロット 36 a が、概ね同一サイズ及び同一方向で複数設けられている。また、隣接するスロット 36 a の中心間の距離 L_1 を、実質的に、下記式 (12) を満たすように設定する。

$$L_1 = n_{L1} \lambda_{34} \quad \cdots (12)$$

ここで、 λ_{34} は矩形アンテナ誘電体 34 内のマイクロ波の波長、 n_{L1} は 1 以上の整数である。スロット 36 a は、矩形封止誘電体 38 内でのマイクロ波分布に応じて、その傾斜角度を変更することもできる。つまり、試料 12 の処理方法や装置の処理条件などに応じて矩形封止誘電体 38 内でのマイクロ波の X 方向の伝搬成分と Y 方向の伝搬成分との比を考慮し、スロット 36 a の傾斜角度を変更する。図 11 (a) に示す矩形アンテナ誘電体 34 内を伝搬する波長 λ_{34} のマイクロ波がスロット板 36 に導入されると、図 11 (a) の斜線部分のマイクロ波が各々のスロット 36 a から矩形封止誘電体 38 に導入される。よって、各々のスロット 36 a の中心位置における矩形封止誘電体 38 内でのマイクロ波の位相が揃うため、矩形封止誘電体 38 に導入されるマイクロ波と矩形封止誘電体 38 内を伝搬するマイクロ波との結合度を高めることができる。

【0036】

一方、図 10 (b) では、長方形状のスロット 36 a が、概ね同一サイズで複数設けられており、前記スロット板に沿う互いに直交する軸のいずれかに関して線対称である。また、隣接するスロット 36 a の中心間の距離 L_2 を、実質的に、下記式 (13) を満たすように設定する。

$$L_2 = n_{L2} (\lambda_{34} / 2) \quad \cdots (13)$$

ここで、 λ_{34} は矩形アンテナ誘電体 34 内のマイクロ波の波長、 n_{L2} は 1 以上の整数である。スロット 36 a の傾斜角度は前述の通りである。図 11 (b) に示す矩形アンテナ誘電体 34 内を伝搬する波長 λ_{34} のマイクロ波がスロット板 36 に導入されると、図 11 (b) の斜線部分のマイクロ波が各々のスロット 36 a から矩形封止誘電体 38 に導入される。よって、前述と同様に、マイクロ波同士の干渉による損失を抑制しつつ、かつスロットの実装密度を高めることができ、より均一なプラズマの励起が可能となる。

【0037】

また、スロット 36 a 内部の比誘電率と矩形アンテナ誘電体 34 の比誘電率とが同程度であれば、スロット 36 a を通過する際のマイクロ波の反射を低減することができ、設計も容易となるのでより好ましい。

[H面スロットアンテナ]

H面スロットアンテナ 30 は、図 9 に示すように底部 30 c に H 面スロットアンテナ 30 の辺方向に沿って、一定間隔毎に長方形状のスロット 30 d を有している。よって、矩形アンテナ誘電体 34、矩形スロット板 36、矩形封止誘電体 38 によりマイクロ波を均一化するとともに、マイクロ波の電界強度分布の均一性を高めるのに有効である。ここでは、アンテナとして H 面スロットアンテナを用いているが、E 面スロットアンテナ、円形導波管、同軸導波管、スロット以外の結合素子等を使用することもできる。なかでも、断面が矩形状のスロットアンテナを使用した場合には、一点に大電力が集中することがなく、発熱・異常放電等の特性変動が生じにくい。また、スロットアンテナが矩形状であるため、矩形アンテナ誘電体 34 に固定し易く特性変動が生じにくいため、均一なプラズマを発生させることができる。

【0038】

H 面スロットアンテナ 30 は、少なくとも 1 カ所に設置すればよいが、大口径な試料を処理する大型な装置に対応させて、複数個設けたり、分岐させて誘電体にマイクロ波を導入するようにしても良い。このとき、偶数個設けるようにすると設計が容易で好ましい。さらに 2^n (n は自然数) 個設けるようにするとより好ましい。

[矩形チャンバ]

矩形チャンバ 25 は、矩形アンテナ誘電体 34、矩形封止誘電体 38 等にあわせて試料 12 の処理面に沿う断面を矩形状に形成すると電氣的・構造的な不整合が少なくなるので好ましい。ただし、プラズマが発生した際には、矩形チャンバ 25 内ではマイクロ波がプラズマに反射・吸収され、マイクロ波の伝搬領域ではなくなるため矩形状でなくとも良い。

【0039】

本実施例に係るプラズマ酸化装置は、試料 12 の処理面に沿う面方向にマイ

クロ波を伝搬させる領域、すなわち矩形アンテナ誘電体 34 及び矩形封止誘電体 38 が矩形状を有しているので、マイクロ波の電界強度分布が全体として均一となり、均一にプラズマが発生する。よって、このプラズマにより均一な薄膜形成が可能となり、ガスの流量・組成比等プロセスマージンを拡大することができる。

また、矩形アンテナ誘電体 34 により電界強度分布が均一化されたマイクロ波が、矩形スロット板 36 を介して均一に矩形封止誘電体 38 に導入され、矩形封止誘電体 38 によりさらに均一性が高められるため、マイクロ波の均一性を保持し易い。

【0040】

上記の矩形アンテナ誘電体 34 及び矩形封止誘電体 38 において、均一化されたマイクロ波はプラズマにより減衰しうるため、必ずしも定在波条件を満たしている必要はなく、概ね均一な電界強度分布を有するマイクロ波であれば良い。ただし、定在波条件を満たしていれば多重反射によるうち消し合いが低減し、より均一にプラズマを発生させ易く、試料 12 表面にさらに均一に薄膜が形成されるので好ましい。同様の理由により、矩形処理室 25b、矩形スロット板 36、H 面スロットアンテナ 30、矩形導波管 20 もマイクロ波の定在波条件を満たしていると好ましい。

<第 2 実施例>

以下に、第 1 実施形態例に係るプラズマ酸窒化装置について、第 2 実施例を挙げて説明する。ただし、第 2 実施例に係るプラズマ酸窒化装置は、以下に記載の矩形処理室 25b、矩形封止誘電体 38、矩形アンテナ誘電体 34 以外については、第 1 実施例と同様の構成を有している。

【0041】

図 12 は、図 7 のプラズマ酸窒化装置の要部とマイクロ波伝搬領域におけるマイクロ波の Y 方向の波長との関係を示している。なお図 6 または図 8 において、矩形アンテナ誘電体 34、矩形封止誘電体 38 及び矩形処理室 25b の試料 12 の処理面に沿う断面において、二組の対向する平行な二辺と同一なそれぞれの方向を X 方向及び Y 方向とし、X、Y 方向と垂直な方向を Z 方向とする。また、図

9に示すように、H面スロットアンテナ30の長方形状のスロット30dは、Y方向に沿って設けられている。

【0042】

このとき、H面スロットアンテナ30、矩形アンテナ誘電体34、矩形封止誘電体38及び矩形処理室25bの試料12の処理面に沿う断面は、例えば長方形状または正形状である。

本実施例の矩形アンテナ誘電体34のX方向の長さ L_{34X} 及び矩形封止誘電体38のX方向の長さ L_{38X} 及び／またはY方向の長さ L_{38Y} は、それぞれのマイクロ波伝搬領域を伝搬するマイクロ波の波長 λ の半分($\lambda/2$)の整数倍に設定されている。つまり、それぞれのY方向の長さを、実質的に次式(14)、(15)及び／または(16)を満たすように設定する。

$$L_{34X} = n_{34X} \times (\lambda_{34} / 2) \quad \dots (14)$$

$$L_{38X} = n_{38X} \times (\lambda_{38} / 2) \quad \dots (15)$$

$$L_{38Y} = n_{38Y} \times (\lambda_{38} / 2) \quad \dots (16)$$

ここで、 λ_{34} は矩形アンテナ誘電体34内のマイクロ波の波長、 λ_{38} は矩形封止誘電体38内のマイクロ波の波長、 n_{34X} 、 n_{38X} 及び n_{38Y} は1以上の整数である。上記の式(14)～(16)の波長 λ_{34} 及び波長 λ_{38} は、矩形アンテナ誘電体34及び矩形封止誘電体38のX方向及びY方向の長さが各々の波長 λ_{34} 及び波長 λ_{38} より十分に大きい場合、X方向及びY方向など全方向において実質的に同一の波長となり、下記式(17)、(18)で表される。

【0043】

【数1】

$$\lambda_{34} = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_{r34}}} \quad \dots (17)$$

$$\lambda_{38} = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_{r38}}} \quad \dots (18)$$

ここで、 λ ＝自由空間波長、 ϵ_{r34} ＝矩形アンテナ誘電体34の比誘電率、 ϵ_{r38} ＝矩形封止誘電体38の比誘電率である。

誘電体の設計は、矩形アンテナ誘電体34及び矩形封止誘電体38内でのマイ

クロ波の伝播方向の成分を考慮し、X方向及び／またはY方向の長さを設定する。さらに、Z方向の長さについても同様に設定すると好ましい。

【0044】

上記のように矩形アンテナ誘電体34及び矩形封止誘電体38のY方向の長さを設定することで、各々の誘電体内の試料12の処理面に沿う方向において、マイクロ波の定在波条件が満たされ、矩形アンテナ誘電体34及び矩形封止誘電体38内のマイクロ波が安定する。よって、マイクロ波伝搬領域の壁面を端面とした多重反射による波の打ち消し合いが低減し、効率よく均一なプラズマを発生させることができる。これにより、大口径ウェハにおいて薄膜を均一に生成することができる。

【0045】

なお、誘電体内のマイクロ波の波長 λ は比誘電率 ϵ_r により変化するため、矩形アンテナ誘電体34及び矩形封止誘電体38を同一物質で形成するか、あるいは同程度の比誘電率を有する物質で形成するのがさらに好ましい。比誘電率 ϵ_r が同程度であると波長 λ_{34} 、 λ_{38} が同程度となり、矩形アンテナ誘電体34及び矩形封止誘電体38のX方向及び／またはY方向の長さを揃えることができ、より現実的な設計が可能となる。

同様に、矩形処理室25bのX方向及び／またはY方向の長さを、実質的に、矩形処理室25b内のマイクロ波の波長の半波長の整数倍を満たすように設定すると好ましい。

【0046】

矩形処理室25bは、マイクロ波がプラズマに反射・吸収されるため通常マイクロ波の伝搬領域ではないが、プラズマに反射・吸収されず矩形処理室25b内を伝搬するマイクロ波も存在する。そのため、矩形処理室25b内を伝搬するマイクロ波による多重反射がプラズマに与える影響を低減するために、矩形処理室25bのY方向の長さを上記のように設定するのが好ましい。このようにすることで、プラズマの均一性をさらに高め、より均一な薄膜を形成することができ、また均一なプラズマを得るためのプロセスマージンを広げることができる。

【0047】

矩形アンテナ誘電体 34 及び矩形封止誘電体 38 の Y 方向の長さがそれぞれの誘電体内を伝搬するマイクロ波の定在波条件を満たすことに加え、さらに図 12 に示すように矩形アンテナ誘電体 34 及び矩形封止誘電体 38 の内部でのマイクロ波の位相の位置が互いに一致していると好ましい。このようにすることで、矩形アンテナ誘電体 34 及び矩形封止誘電体 38 内のそれぞれの位相関係を揃えることができ、プラズマを均一に励起することができる。同じ理由から、矩形アンテナ誘電体 34、矩形封止誘電体 38 及び矩形処理室 25b の内部を伝搬する全てのマイクロ波の位相の位置の少なくとも一部が互いに一致しているとさらに好ましい。

<第 3 実施例>

以下に、第 1 実施形態例に係るプラズマ酸窒化装置について、第 3 実施例を挙げてさらに詳細に説明する。第 3 実施例に係るプラズマ酸窒化装置は、以下に記載の H 面スロットアンテナ 30 及び矩形アンテナ誘電体 34 以外については、第 1 実施例と同様の構成を有している。

【0048】

図 13 (a) は図 6 のプラズマ酸窒化装置の H 面スロットアンテナ 30 の底面 30c におけるスロット 30d の位置と H 面スロットアンテナ 30 内のマイクロ波の波長との関係を示す説明図、図 13 (b) は図 6 のプラズマ酸窒化装置の Y 方向に垂直な断面における H 面スロットアンテナ 30 と矩形アンテナ誘電体 34 内のマイクロ波の波長との関係を示す説明図、図 14 (a)、(b) は、2 つの H 面スロットアンテナにおけるスロット 30d の配置図である。なお図 6 または図 8 において、矩形アンテナ誘電体 34、矩形封止誘電体 38 及び矩形処理室 25b の試料 12 の処理面に沿う断面において、二組の対向する平行な二辺と同一なそれぞれの方向を X 方向及び Y 方向とし、X、Y 方向と垂直な方向を Z 方向とする。このとき、H 面スロットアンテナ 30、矩形アンテナ誘電体 34、矩形封止誘電体 38 及び矩形処理室 25b の試料 12 の処理面に沿う断面は、例えば長方形状または正形状である。

【0049】

本実施例に係るプラズマ酸窒化装置では、スロット 30d の配置位置と、H 面

スロットアンテナ 30 と矩形アンテナ誘電体 34 とのマイクロ波の波長の関係を設定している。まず、スロット 30 d の配置位置について説明する。

[H面アンテナのスロットの配置位置]

第 1 に、長方形状のスロット 30 d が、図 13 (a) に示すように、底部 30 c の Y 方向に延びる軸 A 1、A 2 上に交互に設けられている。ここで、図 13 に示す前記の軸 A 1 と軸 A 2 との間隔 L_5 を、実質的に、次式 (19) を満たすように設定する。

【0050】

$$L_5 = nL_5 (\lambda_{34} / 2) \quad \dots (19)$$

ここで、 λ_{34} は矩形アンテナ誘電体 34 内のマイクロ波の波長、 nL_5 は 1 以上の整数である。このように軸 A 1 と軸 A 2 との間隔 L_5 を設定することで、図 13 (b) に示すように、各々の軸 A 1 と軸 A 2 のスロット 30 d の位置において、底部 30 c の X 方向における矩形アンテナ誘電体 34 内のマイクロ波の位相関係を揃えることができる。よって、両軸上のスロット 30 d から矩形アンテナ誘電体 34 に導入されるマイクロ波が互いに打ち消し合う等の干渉が低減し、低損失かつ均一なマイクロ波分布を得ることができる。

【0051】

また、スロット 30 d の Y 方向の長さ L_3 及び／または軸 A 1、A 2 上に交互に隣接して配置されたスロット 30 d の Y 方向における中心位置の距離 L_4 を、実質的に、次式 (20)、(21) を満たすように設定すると好ましい。

$$L_3 = nL_3 (\lambda_{30} / 2) \quad \dots (20)$$

$$L_4 = nL_4 (\lambda_{30} / 2) \quad \dots (21)$$

ここで、 λ_{30} は H 面スロットアンテナ 30 内のマイクロ波の波長、 nL_3 、 nL_4 は 1 以上の整数である。このように設定すると、 L_3 が H 面スロットアンテナ 30 内のマイクロ波の共鳴長となり、H 面スロットアンテナから矩形アンテナ誘電体 34 に導入されるマイクロ波と矩形アンテナ誘電体 34 内のマイクロ波との結合度を高めることができる。また L_4 を上記のように設定することで、両軸上の交互のスロット 30 d から矩形アンテナ誘電体 34 に導入されるマイクロ波の位相及び結合度を揃えることができる。

【0052】

さらに、図13(a)に示すように、スロット30dの中心位置とH面スロットアンテナ内をY方向に伝搬するマイクロ波の腹の位置とが一致していると、より結合度が高くなり好ましい。

また、H面スロットアンテナ30のY方向の中心軸に関して線対称になるように軸A1、A2を設定し、その軸上にスロット30dを配置すると好ましい。このようにスロット30dを配置することで、スロット30dから導入されるマイクロ波と矩形アンテナ誘電体34内のマイクロ波との結合度が同程度となり、マイクロ波を均一化し易くなる。

【0053】

また、H面スロットアンテナ30のX方向の幅 W_1 が、実質的に、下記式(2)を満たすように設定すると好ましい。

【0054】

【数2】

$$W_1 \simeq L_5 \cdots (22)$$

このように幅 W_1 を設定することで、スロット30dから導入されるマイクロ波と矩形誘電体15内のマイクロ波との結合度を高めることができる。

第2に、矩形アンテナ誘電体34のY方向に沿う端面と軸A1、A2とのそれぞれの距離Dが、実質的に、下記式(23)を満たすように軸A1、A2を設定し、その軸上にスロット30dを配置する。

【0055】

$$D = n_D (1/4) \lambda_{34} \cdots (23)$$

ここで、 λ_{34} は矩形アンテナ誘電体34内のマイクロ波の波長、 n_D は1以上の整数である。このようにDを設定することで、スロット30dから導入されるマイクロ波と矩形アンテナ誘電体34内のマイクロ波との結合度を高めたり、逆に異常放電を抑制することができる。つまり、例えば矩形アンテナ誘電体34とH面スロットアンテナ30との結合部をチョークと逆の関係とすることができるので、両者のより高い結合度を得ることができる。結合度を高める場合には、例

例えば n_D として奇数を選択し、異常放電を抑制する場合には n_D として偶数を選択する。

[マイクロ波の波長の関係]

次に、H面スロットアンテナ 30 内のマイクロ波の波長 λ_{30} と、矩形アンテナ誘電体 34 内のマイクロ波の波長 λ_{34} との関係について説明する。

【0056】

軸 A1 及び軸 A2 のそれぞれから矩形アンテナ誘電体 34 に導入されるマイクロ波が同位相の場合は下記式 (24) を満たすように、逆位相の場合は下記式 (25) を満たすように設定する。

$$\lambda_{30}/2 = 2m(1/2)\lambda_{34} \quad \cdots (24)$$

$$\lambda_{30}/2 = (2m+1)(1/2)\lambda_{34} \quad \cdots (25)$$

ここで、 m は 1 以上の整数である。前記式 (24) または (25) の関係を満たすように、H面スロットアンテナの形状もしくは構造を変更することもできる。このように設定することで、H面スロットアンテナ 30 及び矩形アンテナ誘電体 34 内のそれぞれのマイクロ波の位相位置が一致し、定在波条件を同時に満たすことができる。そのため、それぞれの伝搬領域内を伝搬するマイクロ波が互いに干渉して定在波条件を乱すのを低減することができる。よって、マイクロ波の減衰を抑えて、均一なマイクロ波を発生させ易く、均一なプラズマにより均一な薄膜を生成することができる。

【0057】

上記では、単独のH面スロットアンテナ 30 のみを使用しているが、矩形導波管を分岐して複数のH面スロットアンテナ 30 と接続し、矩形アンテナ誘電体 34 にマイクロ波を導入しても良い。分岐の方法としては、例えば 2 つに分岐する場合には、2 つのH面スロットアンテナ 30 内部のマイクロ波の位相状態が同相となる H 分岐や、位相状態が逆相となる E 分岐を使用することができる。

図 14 (a)、(b) は、矩形導波管 2 を H 分岐または E 分岐に分岐後、2 つのH面スロットアンテナ 30 を介して矩形アンテナ誘電体 34 にマイクロ波を導入する場合の、H面スロットアンテナ 30 の底部 30c におけるスロット 30d の配置位置及びH面スロットアンテナ 30 内の Y 方向のマイクロ波の波形を示し

ている。図14におけるH面スロットアンテナ30における軸A1及び軸A2上に位置するスロット30dの配置方法は、図13と同様である。

【0058】

図14(a)はスロット30dが同じ位置に配置された2つの同一のH面スロットアンテナ30の平面図、同図(b)はスロット30dがY方向に関して線対称に配置された2つの同一のH面スロットアンテナ30の平面図である。ここで、図14(a)に示すように、2つのH面スロットアンテナ30におけるスロット30dの配置位置が同じ場合を“同相の配置位置”とし、同図(b)に示すように線対称で、互いの配置位置が対称の場合を“逆相の配置位置”とする。また、図14に示すように、隣接するH面スロットアンテナ30におけるスロット30dのX方向の間隔を L_6 とする。図14(a)、(b)では、図中左側の波形は左側のH面スロットアンテナ30内のマイクロ波を、図中右側の波形は、それぞれH分岐、E分岐後の右側のH面スロットアンテナ30内のマイクロ波を示している。

【0059】

また、以下の表1に、H分岐またはE分岐と同相の配置位置または逆相の配置位置とを組み合わせた場合における間隔 L_6 の関係を示す。ここで、間隔 L_6 は、2つのH面スロットアンテナ30の各々のスロット30dの中心位置における、矩形アンテナ誘電体34内のマイクロ波の位相が揃うように設定されている。

【0060】

【表1】

L_6 の距離

H面スロット アンテナの位相関係	分岐方法	
	H分岐	E分岐
同相	$\frac{\lambda_{34}}{2} (2n_{L6})$	$\frac{\lambda_{34}}{2} (2n_{L6}+1)$
逆相	$\frac{\lambda_{34}}{2} (2n_{L6}+1)$	$\frac{\lambda_{34}}{2} (2n_{L6})$

以上のように間隔 L_6 を設定することで、スロット 30 d から矩形アンテナ誘電体 34 に導入されるマイクロ波の位相が揃うため、互いに打ち消し合う等の干渉が低減する。

また、H面スロットアンテナ 30 内でのマイクロ波の干渉等を低減するため、シングルモードでの動作が可能な形状とするのが好ましい。シングルモードで動作可能なH面スロットアンテナ 30 の例えばY方向の長さ L_Y は、下記式 (26) より求まる。

【0061】

【数3】

$$\lambda_{30} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\lambda}\right)^2 - \left(\frac{1}{2L_Y}\right)^2}} \quad \dots (26)$$

ここで、 λ_{30} はH面スロットアンテナ 30 内のマイクロ波の波長、 λ は自由空間波長である。

なお、H面スロットアンテナの代わりに、E面スロットアンテナ、円形導波管、同軸導波管、スロット以外の結合素子等を使用することもできる。

<第4実施例>

以下に、第1実施形態例に係るプラズマ酸窒化装置の矩形スロット板の設計仕様について、第4実施例を挙げて説明する。ただし、第4実施例に係るプラズマ酸窒化装置は、矩形スロット板の設計仕様以外については、第1実施例と同様の構成を有している。

【0062】

図15は、複数のスロット 36 a を有する矩形スロット板 36 の斜視図である。矩形スロット板 36 の厚み t は剛性や放熱特性の観点から 1 mm 以上であると好ましい。矩形スロット板 36 の厚みが 1 mm 以上であると、プラズマを発生させる際等に生じる放熱特性や剛性が向上し、かつスロット 36 a から導入されるマイクロ波が減少することで、火花や異常放電発生などの問題を低減することができる。厚み t が 3 mm 以上であると、さらに前記の問題を低減することができるので好ましい。

【0063】

また、長形状であるスロット 36 a の長辺方向のスロット長 L_7 は、好ましくは $L_7 \geq (3/8) \lambda_{34}$ 、さらに好ましくは $L_7 \geq (1/2) \lambda_{34}$ となるように設定する。このようにスロット長 L_7 を設定することで、スロット板の厚み t が厚い場合でもスロット 36 a によるマイクロ波の減衰を防止し易く、矩形スロット板 36 を通過した矩形アンテナ誘電体 34 内のマイクロ波と矩形封止誘電体 38 内のマイクロ波との結合度を良好にすることができる。さらに好ましくは $L_7 = (1/2) \lambda_{34}$ となるように設定する。このようにすることでスロット長 L_7 が波長 λ_{34} のほぼ共振長となり、厚み t が 1 mm 以上の矩形スロット板 36 であっても、またスロット 36 a の短辺方向の長さ W_2 が狭い場合であっても矩形封止誘電体 38 へのマイクロ波の十分な透過率を得ることができ、矩形スロット板 36 によるマイクロ波の減衰を防止することができる。また、マイクロ波の分布を乱さずに、矩形アンテナ誘電体 34 から矩形スロット板 36 を介して矩形封止誘電体 38 に導入されるマイクロ波と矩形封止誘電体 38 内のマイクロ波との高い結合度を得ることができる。よって、スロット板の変形や異常放電、マイクロ波の減衰等による不均一なマイクロ波の発生を低減しつつ、さらに高い結合度を得ることができる。そのため、効率よく均一なプラズマを発生させて大口径ウェハにおいて薄膜を均一に生成することができる。

【0064】

また、図 15 に示すスロット 36 a の長辺方向における隣接するスロットの中心間隔 L_8 を、実質的に、 $L_8 = \lambda_{34}$ とすると、各スロット 36 a から矩形封止誘電体 38 に導入されるマイクロ波の位相が揃うので好ましい。さらに、スロット 36 a 内部の比誘電率と矩形アンテナ誘電体 34 内の比誘電率とが同程度であれば、スロット 36 a を通過する際のマイクロ波の反射を低減することができるので好ましい。

次に矩形スロット板 36 の厚み t 及びスロット 36 a のスロット長 L_7 と透過率及び熱変形によるひずみとの関係を示す。図 16 は矩形スロット板 36 の厚み t と熱変形によるひずみとの関係を示す説明図、図 17 はスロット長 $L_7 = (1/4) \lambda_{34}$ 、 $(3/8) \lambda_{34}$ 、 $(1/2) \lambda_{34}$ のスロットを有する矩形スロット

板 36 各々の厚み t と透過率との関係を示す説明図である。図 16 及び図 17 は、矩形アンテナ誘電体 34 内の波長 λ_{34} が自由空間波長となる程度の寸法を有し、かつ石英で充填されている矩形アンテナ誘電体 34 を用いた場合の実験結果である。

【0065】

図 16 より矩形スロット板 36 の厚み t が 1 mm 以上である場合、矩形スロット板 36 の熱変形ひずみは約 $40 \mu\text{m}$ 以上である。よって、厚み t が 1 mm 以上であると剛性を向上でき、かつ良好な放熱特性を得ることができるため、熱変形ひずみが矩形スロット板 36 の厚み t の $1/10$ 以下と十分に小さくなり、熱変形によるマイクロ波への影響を低減できる。さらに、厚み t が $1 \leq t \leq 3$ (mm) の範囲では、図 16 より熱変形ひずみが約 $20 \mu\text{m}$ となり、変形によるアンテナ特性の変動をさらに小さくできる。また、プラズマを発生させる際に生じる熱の放熱特性がさらに向上し、かつ火花や異常放電などの問題をさらに低減することができる。

【0066】

図 17 より厚み t が 1 mm の各スロット長 L_7 における透過率は、全て約 80 % 以上あり、剛性及び透過率ともに問題ない。特に、 $L_7 \geq (3/8) \lambda_{34}$ とすると、透過率が約 90 % 以上となりマイクロ波の透過率を向上できるので好ましい。また、厚み t が $1 \leq t \leq 3$ (mm) の範囲では、 $L_7 \geq (3/8) \lambda_{34}$ とすると透過率は約 70 % 以上となり、 $L_7 \leq (1/4) \lambda_{34}$ の場合と比較してマイクロ波の透過率を十分に高めることができる。厚み t が 3 mm 以上においても同様に熱変形ひずみは約 $20 \mu\text{m}$ 以下と小さく、さらに $L_7 \geq (3/8) \lambda_{34}$ であると透過率の低下も抑制できる。例えば、厚み t が 5 mm の時、熱変形ひずみは約 $5 \mu\text{m}$ で、透過率は約 55 % 以上である。

【0067】

矩形スロット板 36 の厚み t と熱変形ひずみとの関係は、厚み t と透過率との関係と相反関係にあるため、プラズマ酸化装置の特性に適応させて決定する必要がある。

[その他の実施形態例]

(A) 本発明は、シリコンプロセス以外の化合物、FPD (Flat Panel Display) プロセス等に適用可能である。また、プラズマを用いないマイクロ波照射装置、マイクロ波加熱装置等にも適用可能である。

(B) 前記実施例は、必要に応じて組み合わせて用いることができる。

【0068】

【発明の効果】

本発明を用いれば、試料の処理面に対して均一な処理を施すことができるプラズマ処理装置を提供することができる。

また、本発明を用いれば、プロセスマージンを拡大することができるプラズマ処理装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

第1実施形態例に係るプラズマ酸窒化装置の外観図。

【図2】

A-A' を含む試料の処理面に垂直な方向における図1の装置の断面図。

【図3】

図1に示すプラズマ酸窒化装置の要部の分解斜視図。

【図4】

垂直な壁面におけるマイクロ波の進行方向を示す図。

【図5】

矩形状の伝搬領域におけるマイクロ波の電界強度分布図。

【図6】

第1実施例のプラズマ酸窒化装置の外観図。

【図7】

図6のB-B' を含む図中X軸に垂直な図6の装置の断面図。

【図8】

図6に示すプラズマ酸窒化装置の要部の分解斜視図。

【図9】

H面スロットアンテナのスロット形状。

【図 10】

(a) 矩形スロット板のスロットの形状 (1)。

(b) 矩形スロット板のスロットの形状 (2)。

【図 11】

(a) 図 10 (a) のスロットとアンテナ誘電体内を伝搬する X 及び Y 方向のマイクロ波の波長との関係を示す説明図。

(b) 図 10 (b) のスロットとアンテナ誘電体内を伝搬する X 及び Y 方向のマイクロ波の波長との関係を示す説明図。

【図 12】

図 7 のプラズマ酸化装置の要部とマイクロ波伝搬領域におけるマイクロ波の波長との関係を示す説明図。

【図 13】

(a) 図 6 のプラズマ酸化装置のスロット 30 d の位置と H 面スロットアンテナ 30 内のマイクロ波の波長との関係を示す説明図。

(b) 図 6 のプラズマ酸化装置の Y 方向に垂直な断面における H 面スロットアンテナ 30 及び矩形アンテナ誘電体 34 内のマイクロ波の波長との関係を示す説明図。

【図 14】

(a) 2 つの H 面スロットアンテナにおけるスロット 30 d の配置図 (1)。

(b) 2 つの H 面スロットアンテナにおけるスロット 30 d の配置図 (2)。

【図 15】

複数のスロット 36 a を有する矩形スロット板 36 の斜視図。

【図 16】

矩形スロット板 36 の厚み t と熱変形によるひずみとの関係を示す説明図。

【図 17】

3 種類の各スロット長のスロットを有する矩形スロット板 36 各々の厚み t と透過率との関係を示す説明図。

【図 18】

円筒形状の壁面におけるマイクロ波の進行方向を示す図。

【図 19】

円筒形状の伝搬領域におけるマイクロ波の電界強度分布図。

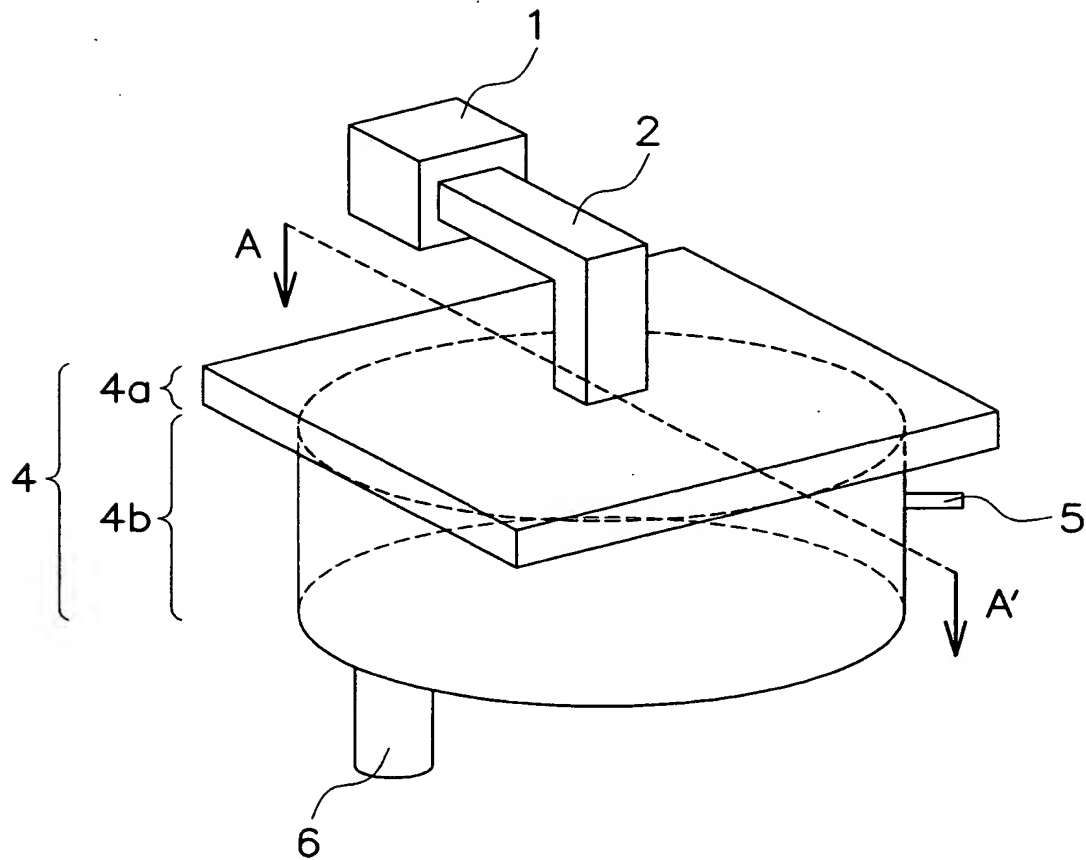
【符号の説明】

- 1 マイクロ波発生器
- 2、20 矩形導波管
- 4 チャンバ
- 4a 矩形チャンバ蓋
- 4b 円形処理室
- 12 試料
- 15、34 矩形アンテナ誘電体
- 17 スロット板
- 19 封止誘電体
- 25 矩形チャンバ
- 25a 矩形チャンバ蓋
- 25b 矩形処理室
- 30 H面スロットアンテナ
- 36 矩形スロット板
- 38 矩形封止誘電体

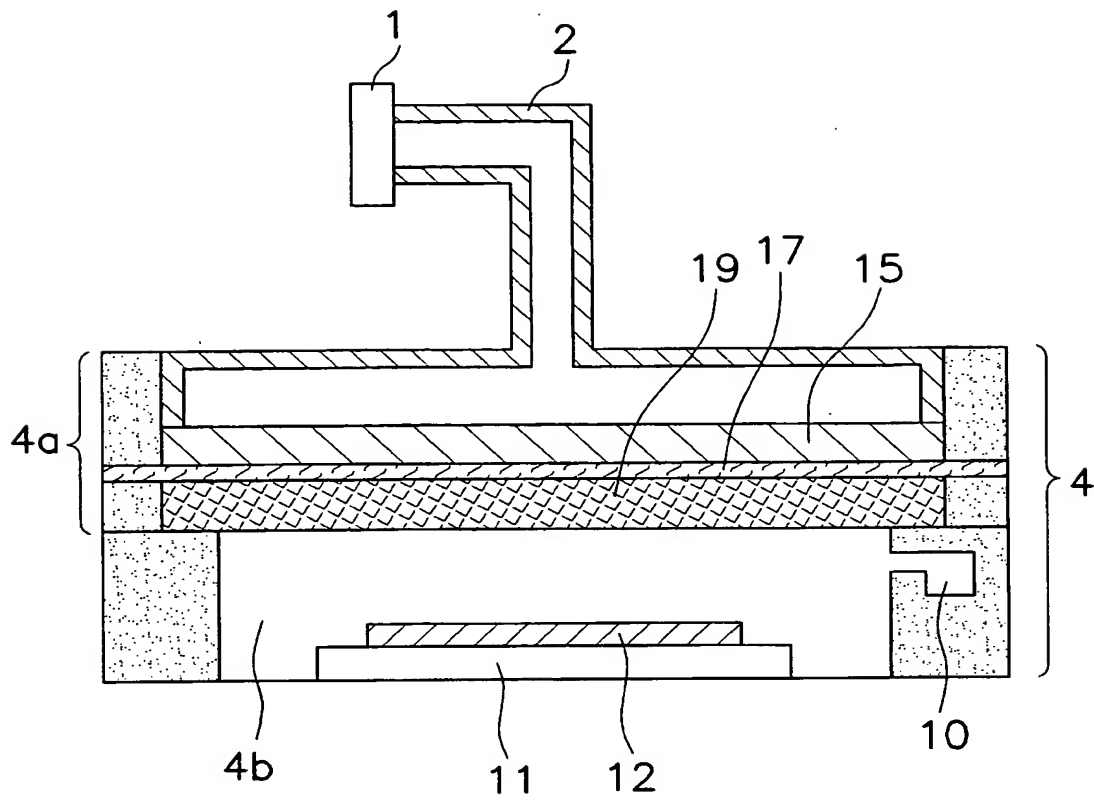
【書類名】

図面

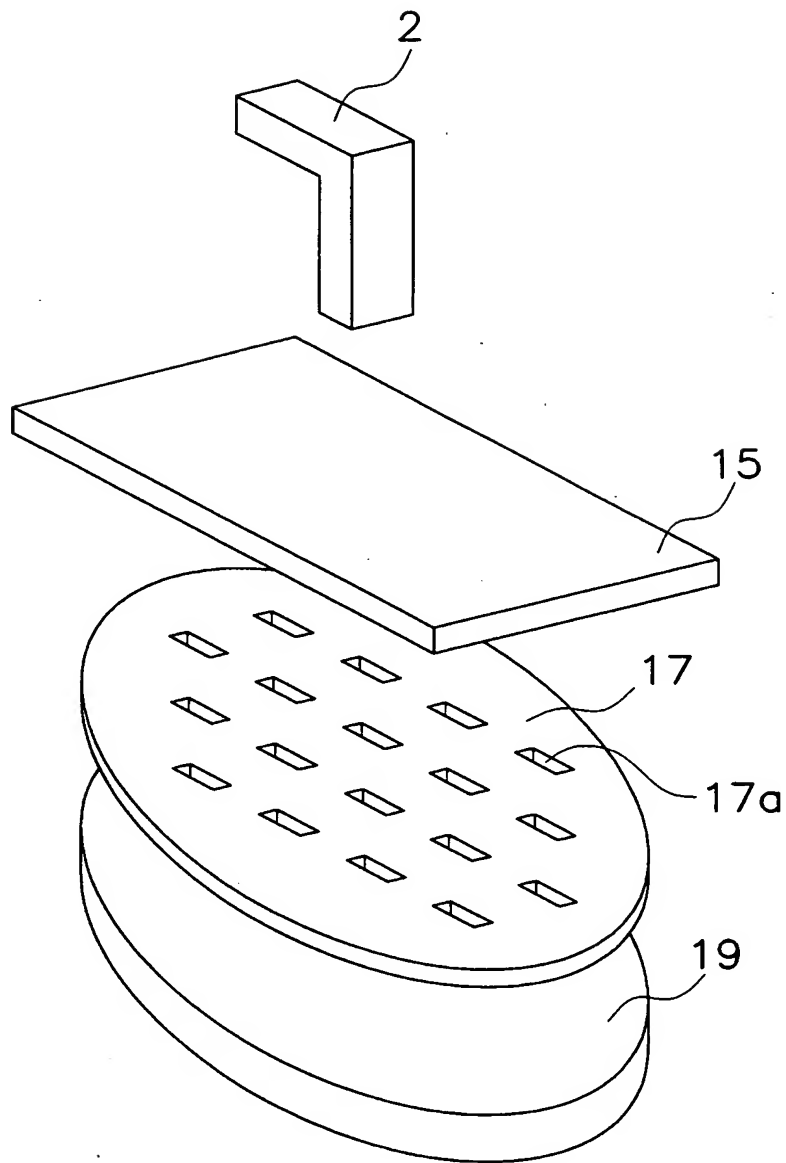
【図 1】



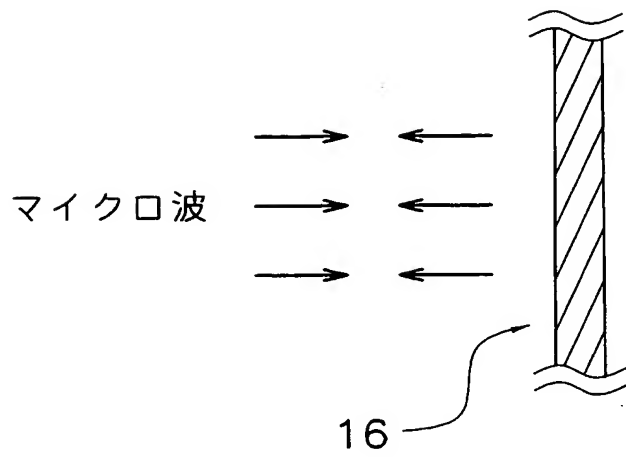
【図 2】



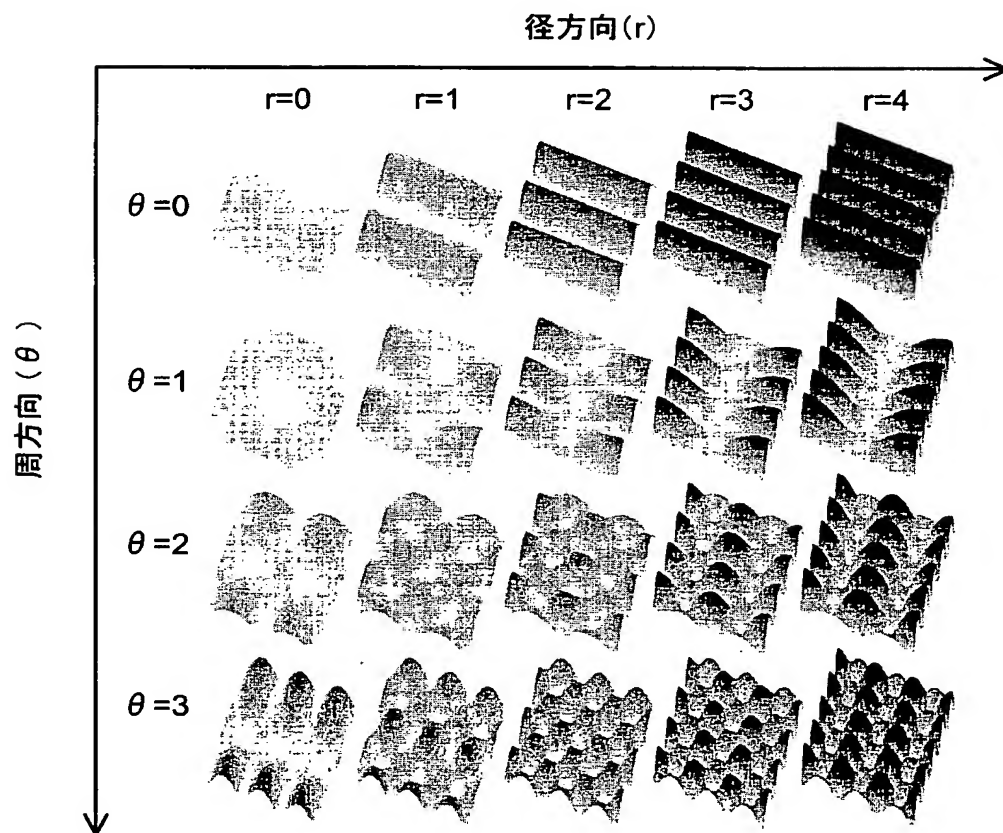
【図 3】



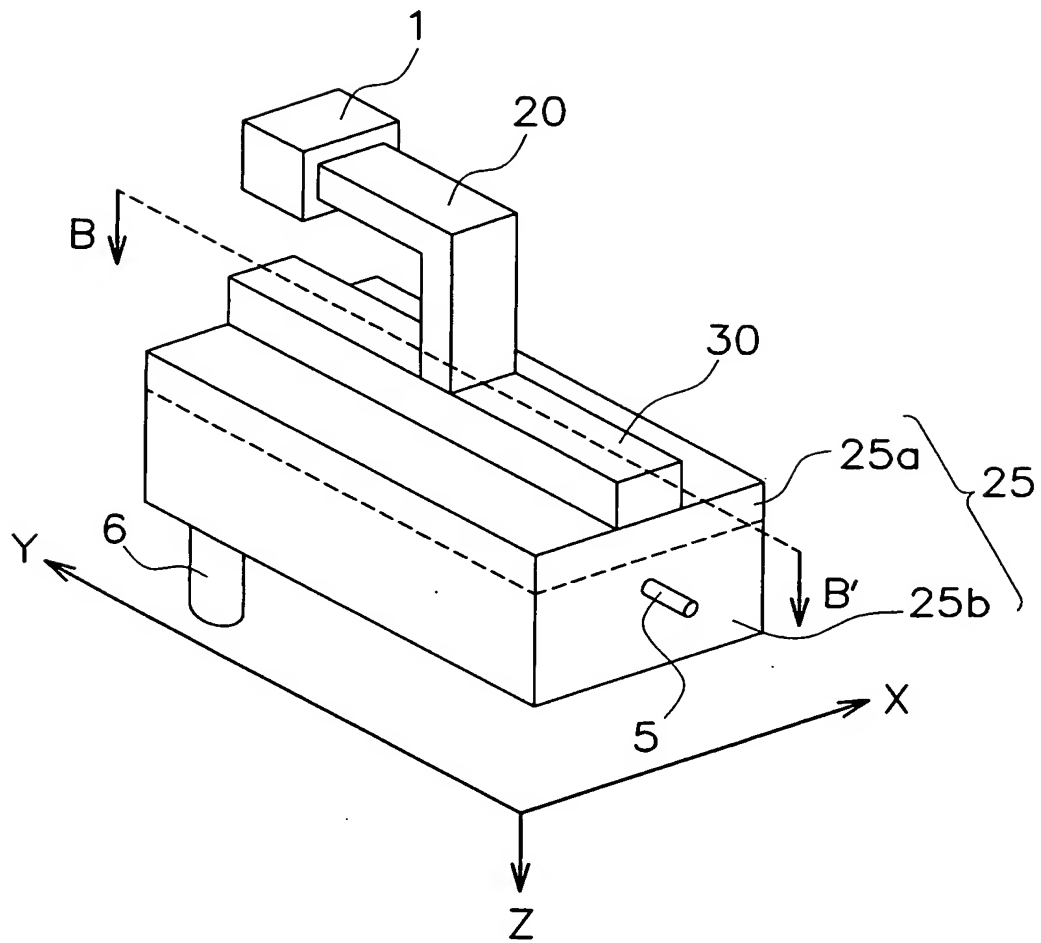
【図 4】



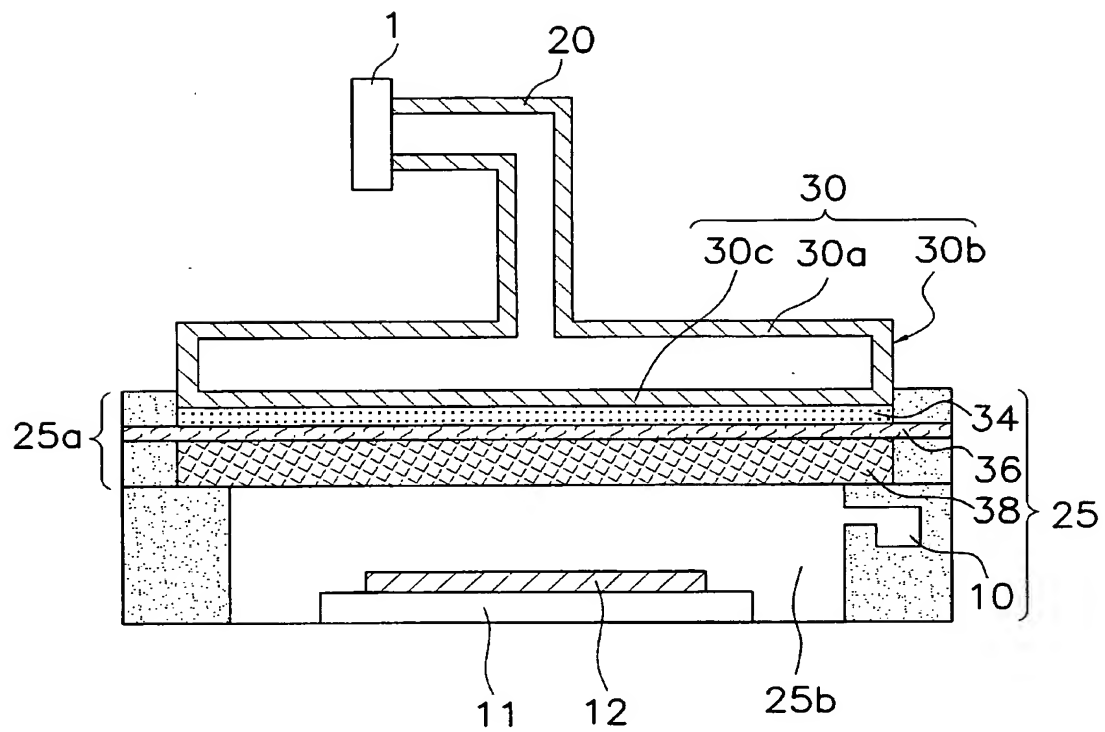
【図 5】



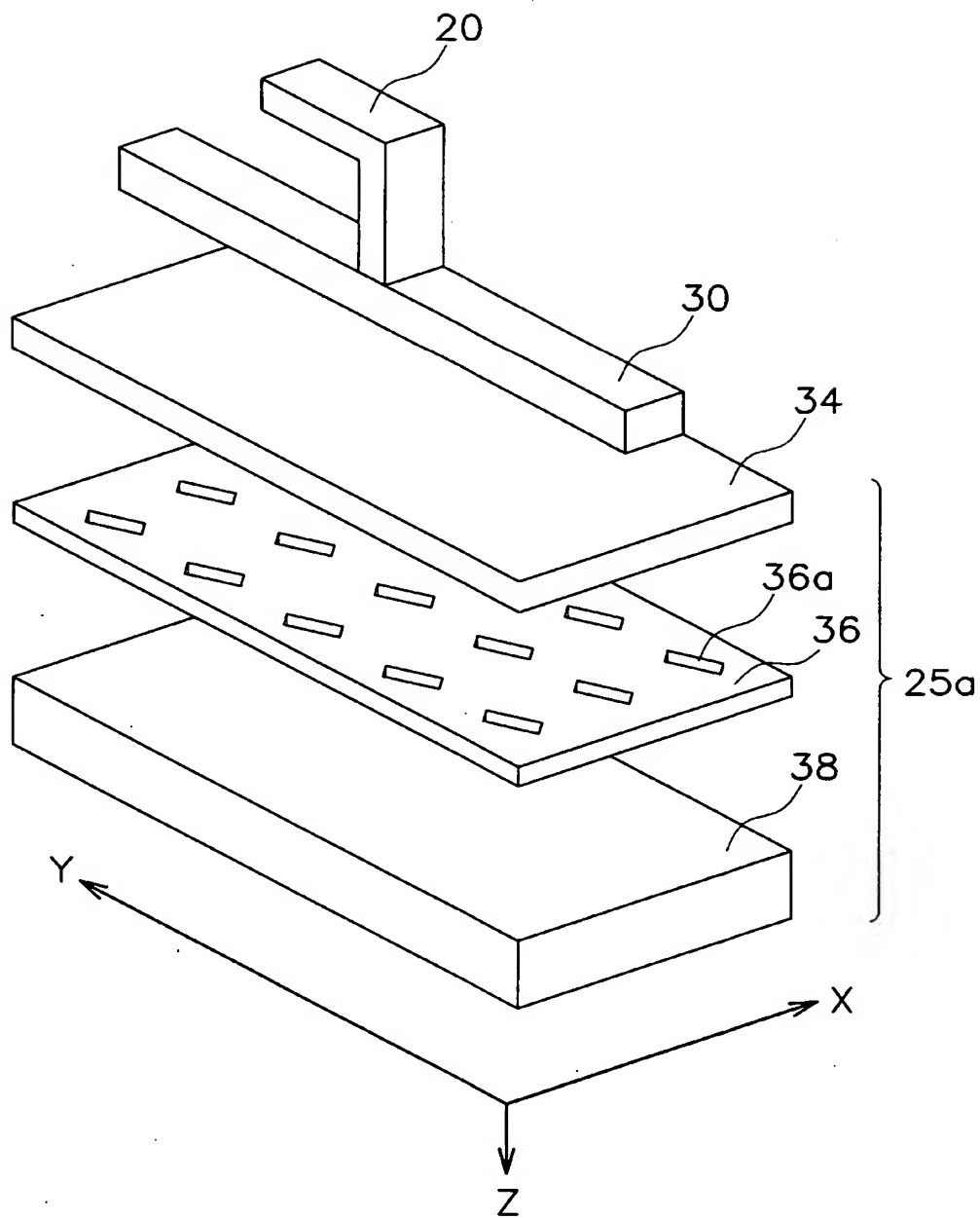
【図 6】



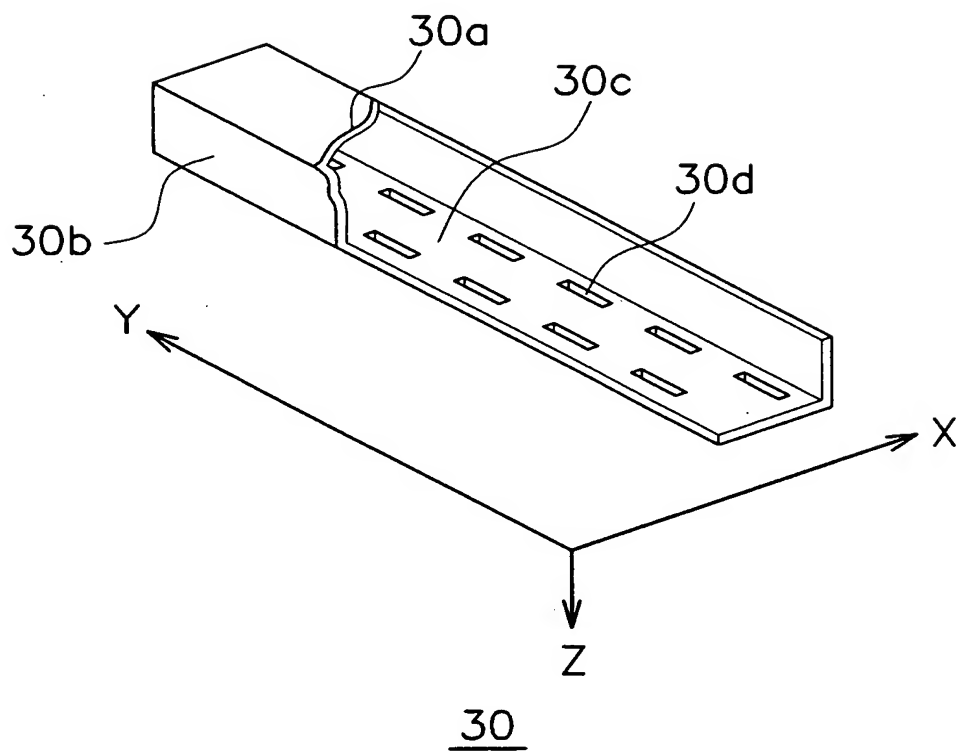
【図 7】



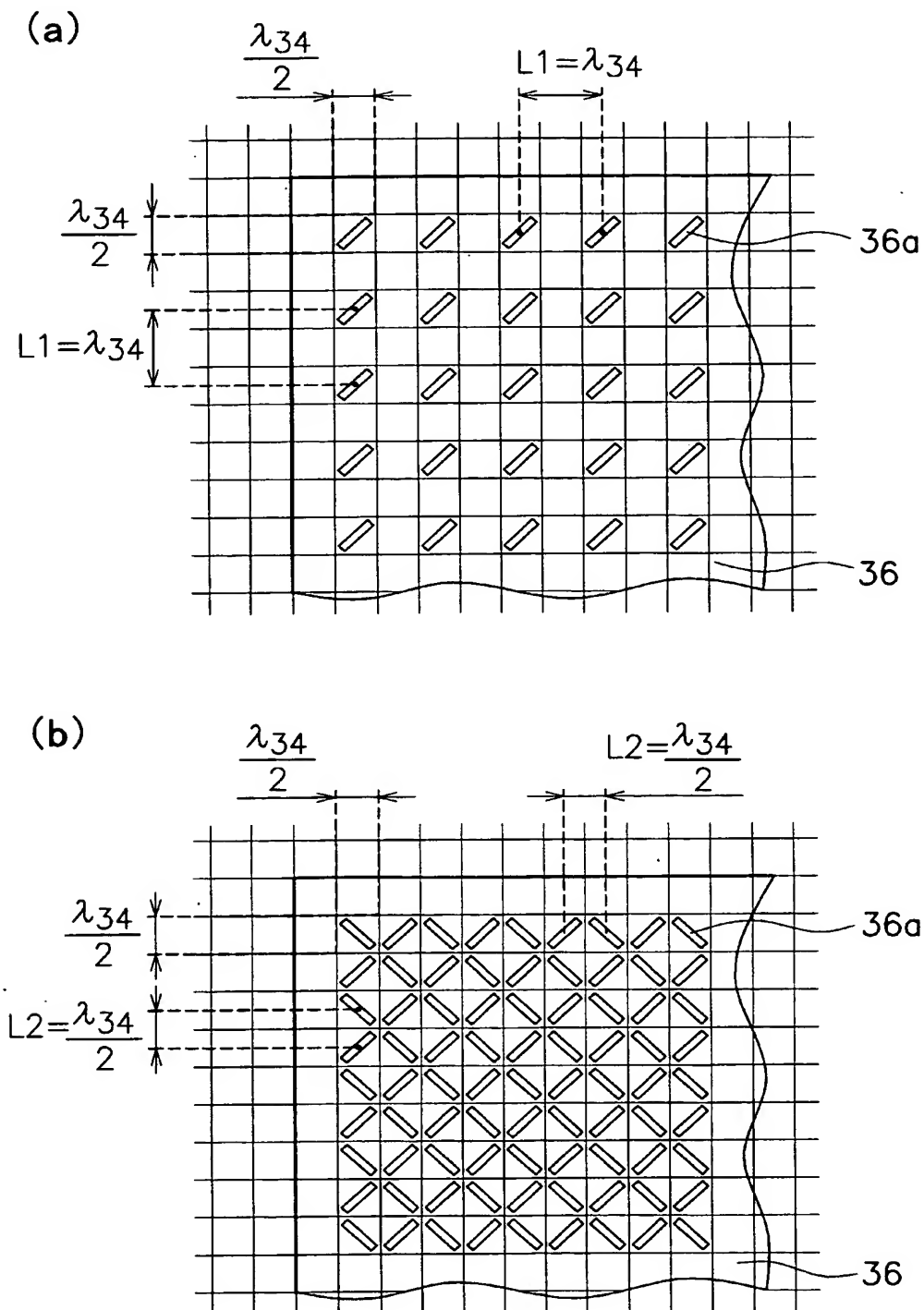
【図 8】



【図 9】

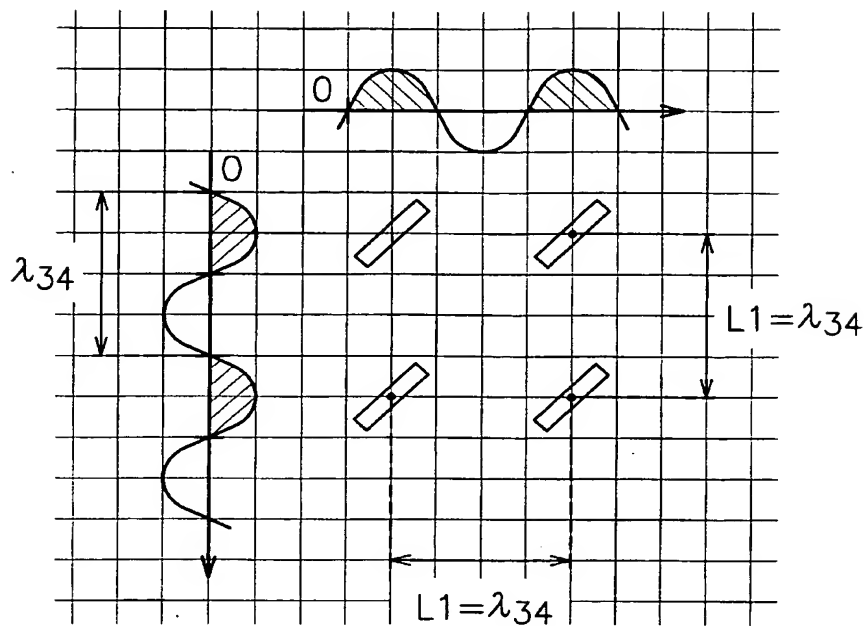


【図 10】

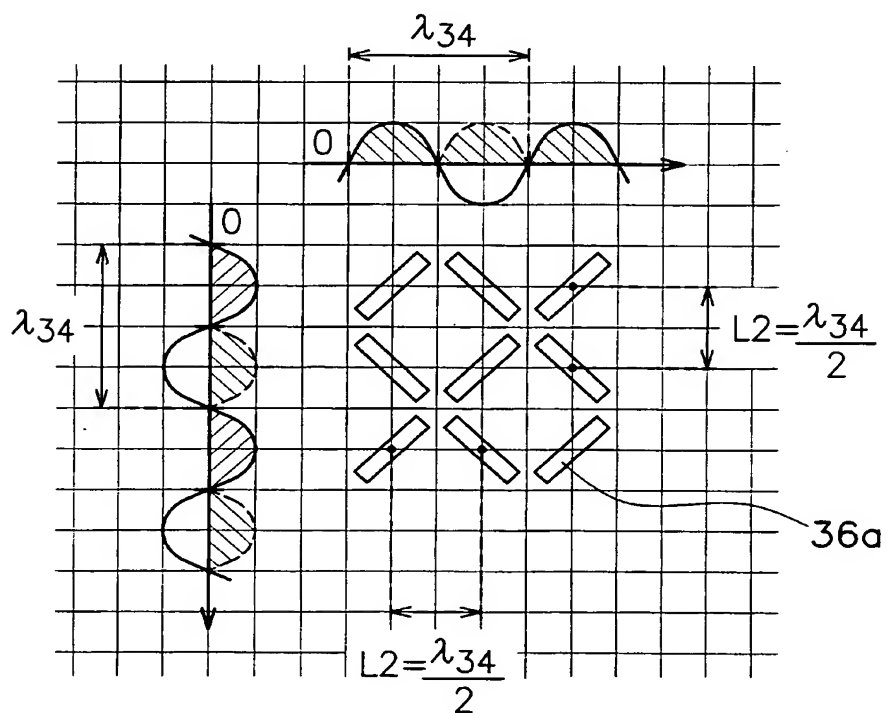


【図 11】

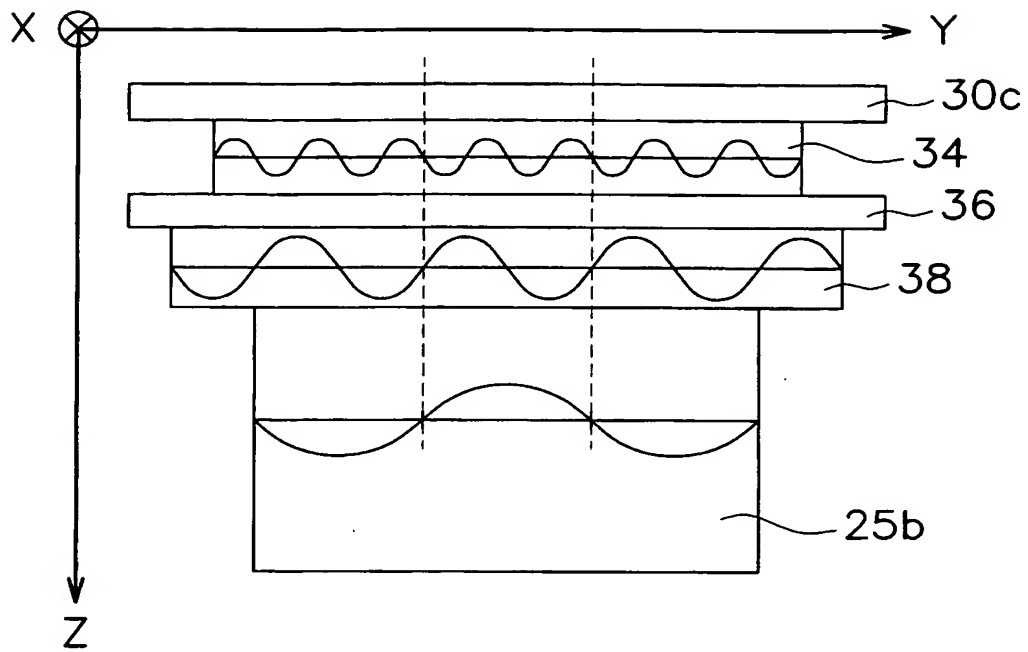
(a)



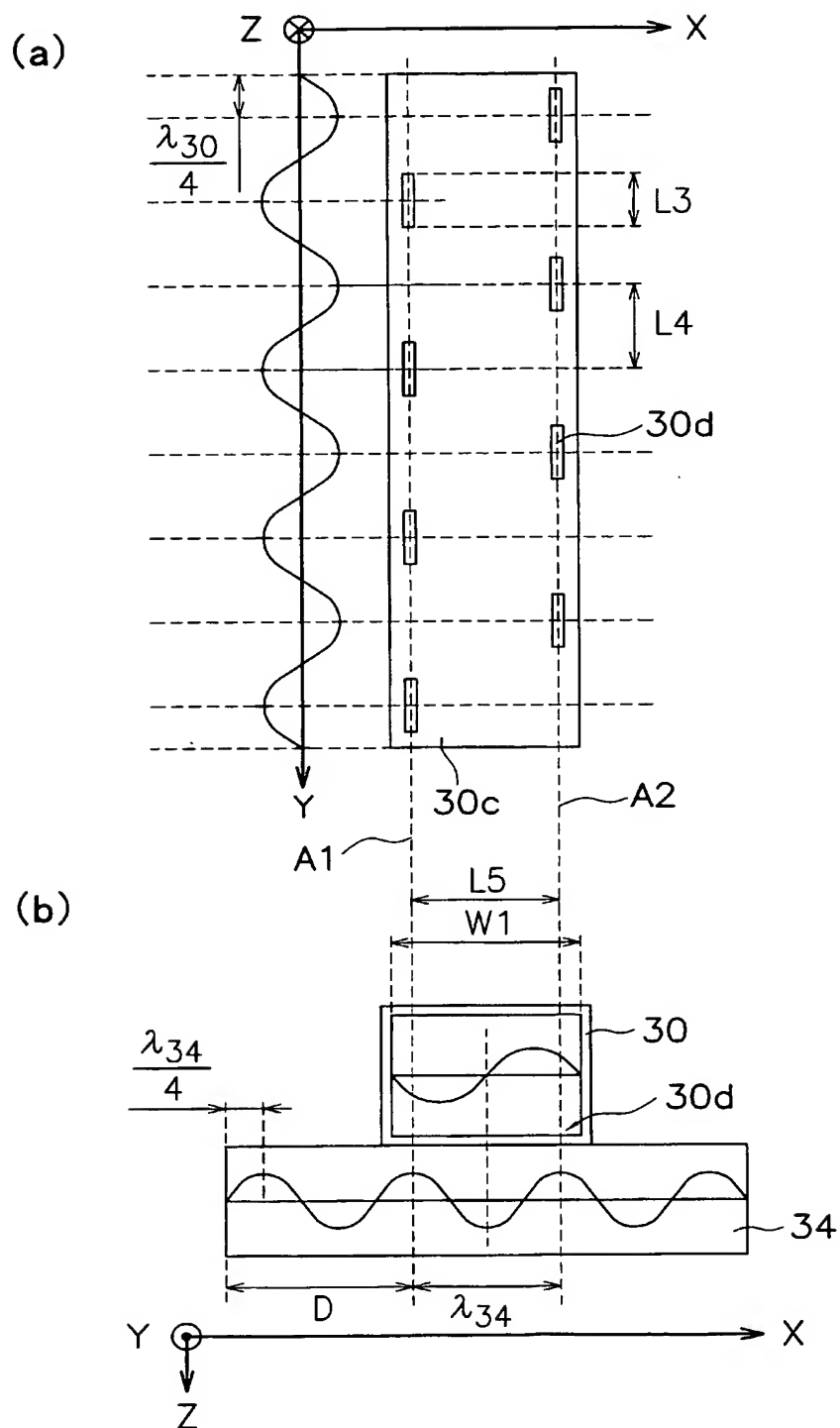
(b)



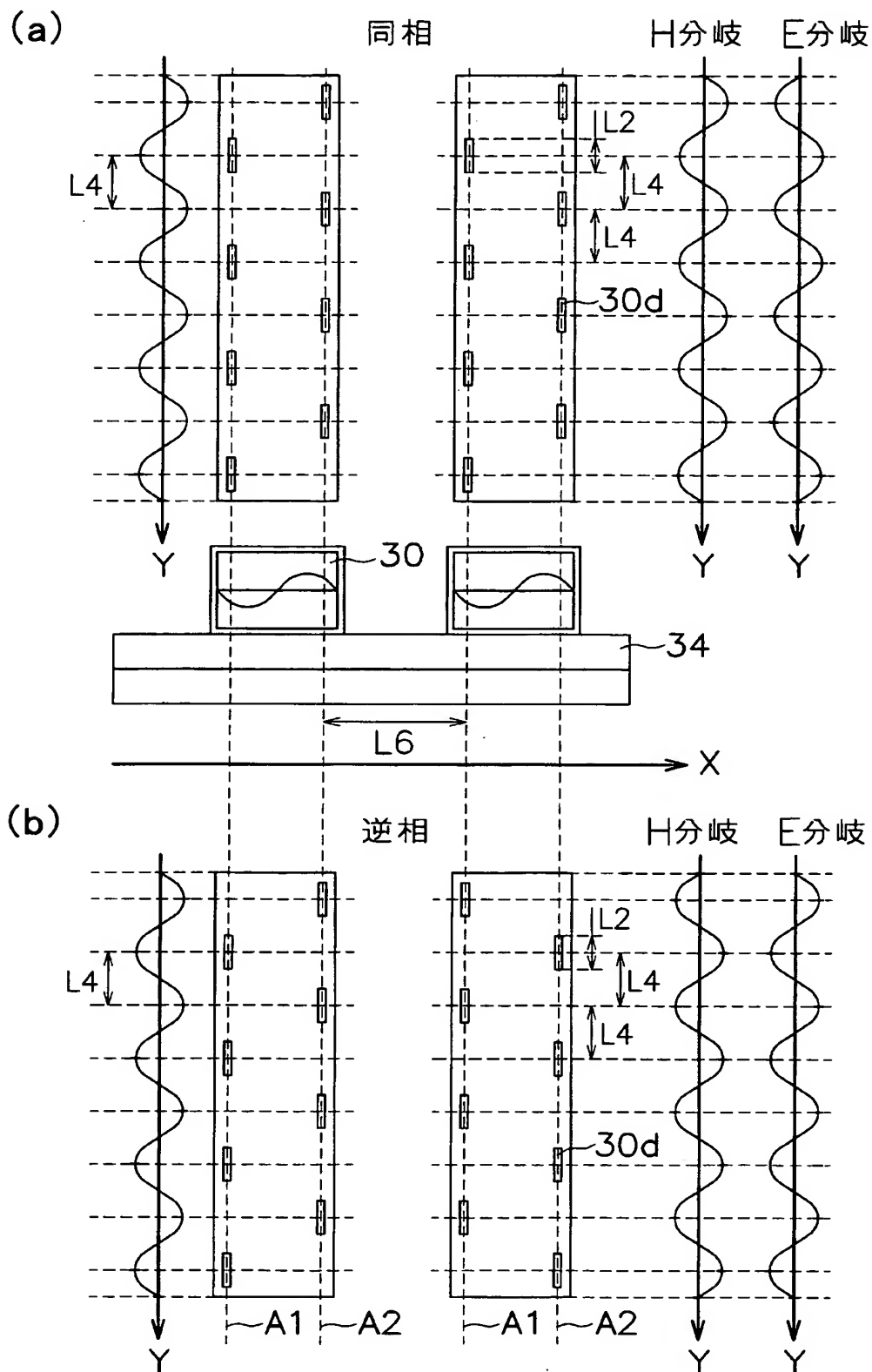
【図 12】



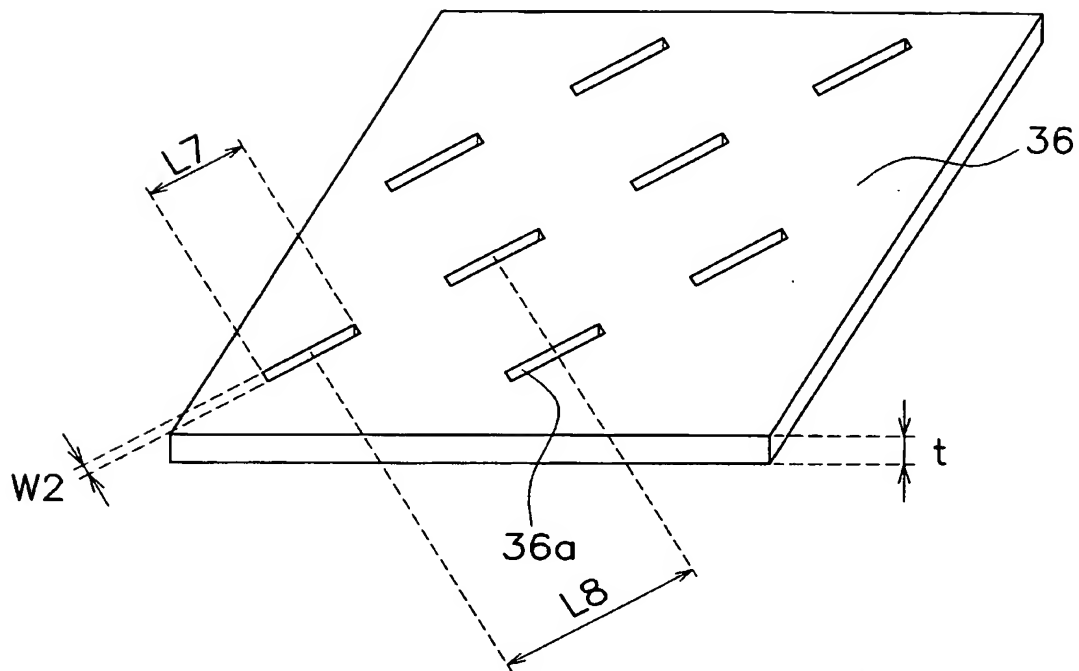
【図 13】



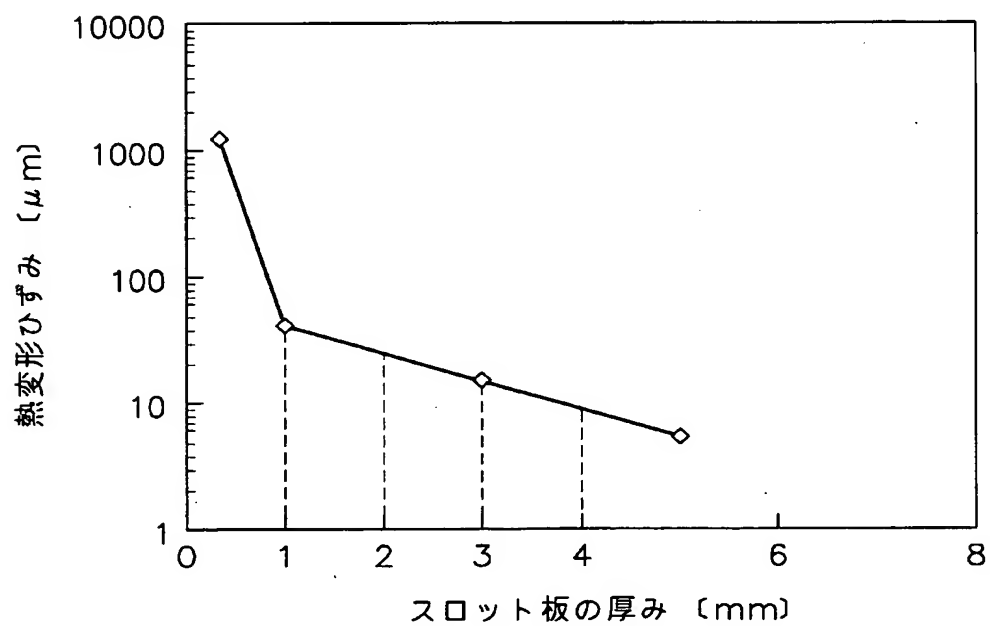
【図 14】



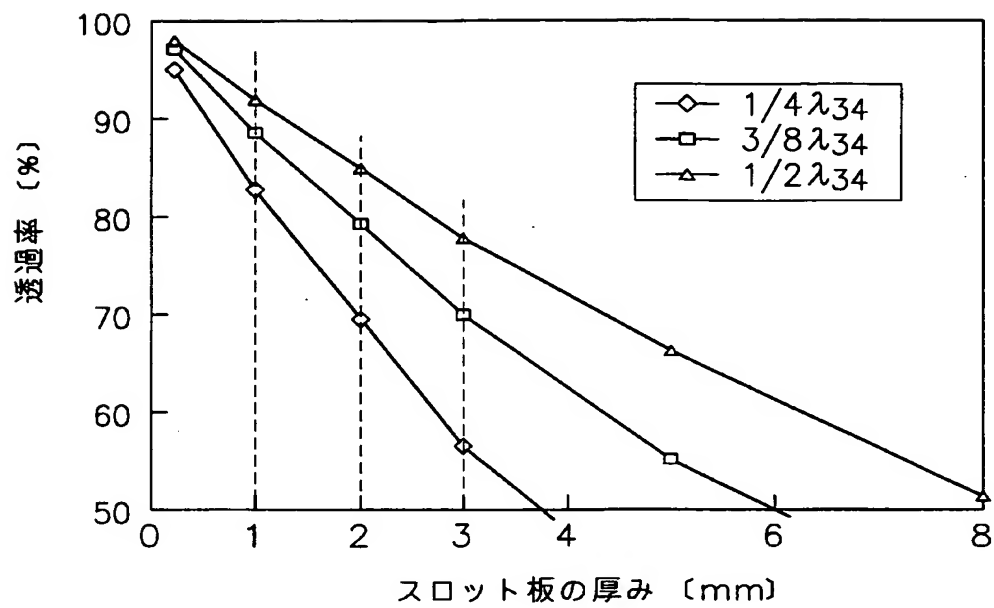
【図 15】



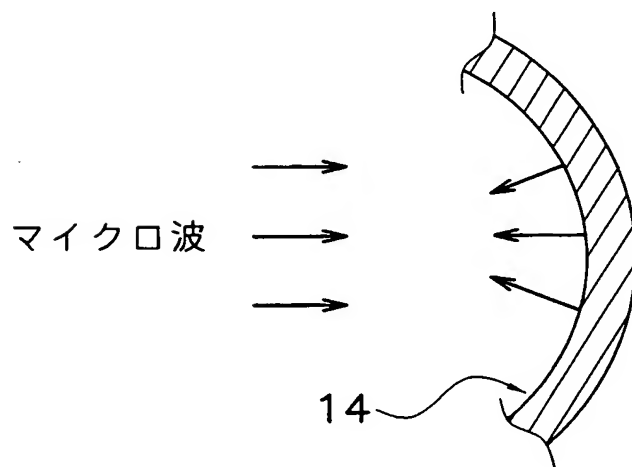
【図 16】



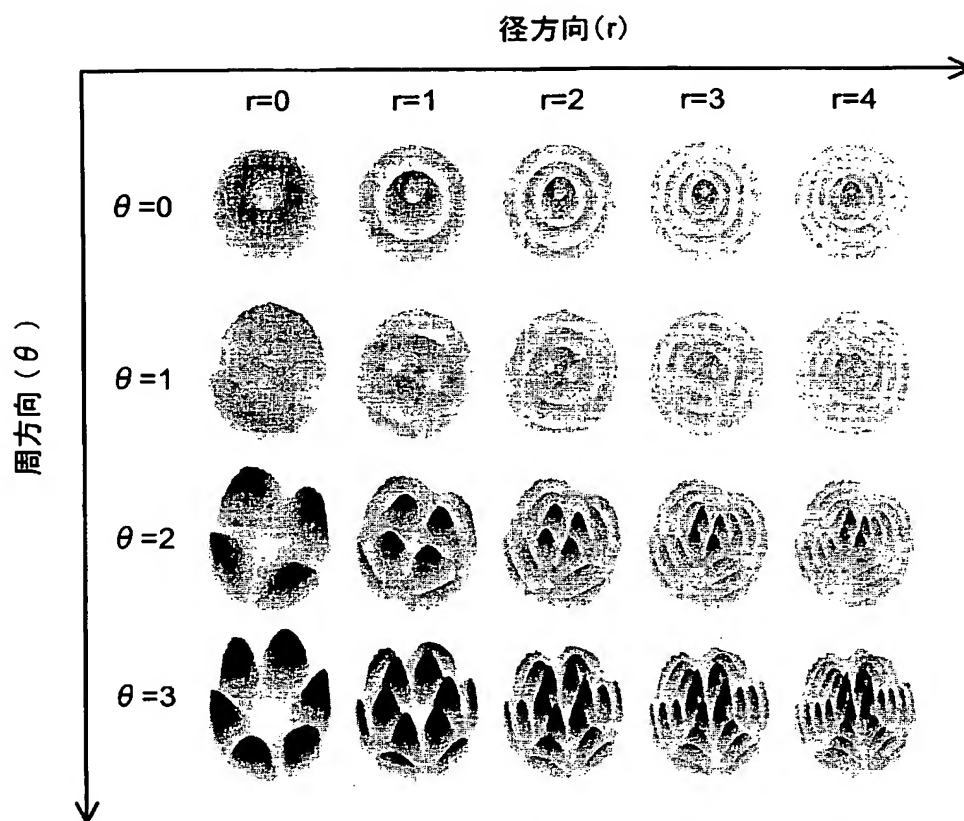
【図 17】



【図 18】



【図 19】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明は、試料の処理面に対して均一な処理を施すことができるプラズマ処理装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 マイクロ波発生手段に接続され、試料の処理面に沿う断面が矩形状であり、前記マイクロ波発生手段から発生したマイクロ波の電界強度分布を前記試料の処理面に沿って概ね均一にする第1誘電体15と、前記第1誘電体の下部に設けられ、複数の第1スロット17aが形成されており、前記第1誘電体15内のマイクロ波の電界強度分布の均一性を保持またはさらに高めるスロット板17と、前記スロット板17の下部に設けられ、前記スロット板17から供給されるマイクロ波の電界強度分布の均一性を保持またはさらに高める第2誘電体と、前記マイクロ波により前記反応器内に発生するプラズマを用いて前記試料を処理する処理手段とを有するプラズマ処理装置を提供する。

【選択図】 図3

特願 2 0 0 3 - 0 2 2 0 7 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 1 1 6 0 2 4]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 2 日

[変更理由]

新規登録

住 所

京都府京都市右京区西院溝崎町 2 1 番地

氏 名

ローム株式会社